

628

Б97

*Т. Бэббит и Дж. Доланг*

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Harold E. Babbitt, M.S.  
James J. Doland, M.S., C.E., D.Sc.

# Water Supply Engineering

Fifth Edition

McGRAW-HILL PUBLISHING COMPANY LTD

NEW YORK

LONDON

TORONTO



622  
Б94

**Гарольд Бэббит**

Профессор санитарной техники Иллинойского университета

**Джемс Дж. Доланд**

Профессор гражданского строительства Иллинойского университета

*Handwritten signatures and notes:*  
W. H. ...  
H. ...  
H. ...  
H. ...  
**Водоснабжение**

Сокращенный перевод с 5-го английского издания 1955 г.  
под редакцией А. М. Конюшкова

Переводчики З. А. Архангельская и Н. К. Коврова

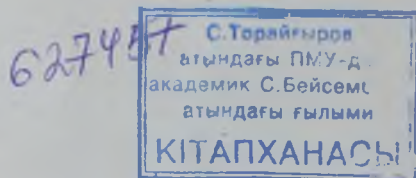
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ, АРХИТЕКТУРЕ  
И СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Москва—1958

242.1

Книга является сокращенным переводом с английского справочного и учебного пособия по водоснабжению. В ней приводятся основные сведения по водоснабжению. Особое внимание уделено вопросам очистки воды.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами водоснабжения.





## ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Перевод книги Гарольда Е. Беббита и Джемса Дж. Доланда «Водоснабжение» сделан с 5-го английского издания этой книги, выпущенного в 1955 г. в Лондоне издательством Mc Craw-Hill Publishing Company Ltd.

Как видно из предисловия Е. Бэббита к английскому изданию, книга предназначается в основном в качестве учебника. Оба автора являются профессорами Иллинойского университета.

Русский перевод книги дается в сокращенном виде за счет полного исключения нескольких глав (1; 2; 4—8; 10—16; 25 по оригиналу). Некоторые из этих глав имеют только косвенное отношение к водоснабжению и освещают вопросы, которые в наших высших и средних технических учебных заведениях являются предметом самостоятельных дисциплин. К тому же в этих главах приводятся в сжатом виде только весьма элементарные данные, не представляющие интереса и для специалистов по этим дисциплинам.

К числу таких глав относятся: «Гидравлика» (гл. 2 по оригиналу; элементарные понятия), «Подземные воды» (гл. 4; общие сведения по гидрогеологии), «Метеорология и гидрология» (гл. 6), «Плотины» (гл. 7), «Напряжения в трубах» (гл. 10; вопросы статической работы трубопроводов), «Запрудные водоемы» (гл. 11; весьма краткие и элементарные сведения о водохозяйственном расчете), «Электрооборудование» (гл. 13), «Двигатели для насосов» (гл. 14), «Водные организмы» (гл. 25).

Другие из исключенных глав, хотя и имеют непосредственное отношение к водоснабжению и даже касаются основных его вопросов, содержат в основном только общие сведения описательного характера, хорошо известные нашим специалистам.

К таким главам относятся следующие:

«Введение» (гл. 1 по оригиналу). В этой обширной главе содержатся сведения, касающиеся финансирования водопроводов, налоговой политики, прав и обязанностей частных фирм, условий займов и другие подобные сведения, не представляющие интереса в наших социалистических условиях, а также общие соображения о значении водоснабжения, об отношении к нему населения и т. д.

«Расположение, конструкция и эксплуатация глубоких колодцев» (гл. 5). В этой главе приводятся описания оборудования скважин, основные сведения о бурении, о фильтрах водозаборных скважин, измерениях уровня воды в скважинах и некоторые далеко неполные сведения об эксплуатации скважин.

«Водозаборные сооружения» (гл. 8). Эти сооружения являются основными в системе водоснабжения, однако они освещены только в самом схематичном виде на 8 страницах текста. Не приводятся никаких расчетных данных. Приводимые примеры водозаборных сооружений не являются типичными. Наряду с крупным сооружением типа «криб» приводится пример простейшего водозаборного сооружения с насосной установкой, передвигающейся по рельсам. Всего приведено только пять типов сооружений, хорошо известных из литературы, без объяснения их преимуществ и недостатков, условий применения и пр.

«Насосные станции» (гл. 12). В отношении этих сооружений, также основных в системе водоснабжения, приводятся только общие соображения о назначении насосных станций, их внешнем виде и другие подобные им сведения. Никаких сведений о режиме работы насосов не приводится.

«Центробежные, ротационные и другие насосы» (гл. 15) и «Глубинные насосы» (гл. 16). В этих главах, довольно обширных по объему, приводятся общие сведения о насосах, достаточно известные нашим специалистам. Много места занимает описание уже отживших свой век поршневых насосов, имеются некоторые отрывочные теоретические сведения, относящиеся к конструкциям насосов. Совершенно не рассматривается совместная работа насосных станций и резервуаров.

В других главах опущены некоторые отдельные абзацы, не содержащие каких-либо более или менее конкретных сведений.

Почти без сокращения оставлены главы 26—31, касающиеся улучшения качества воды.

Так как книга предназначается главным образом как учебник, в большей ее части содержатся элементарные сведения и изложение основ водоснабжения. Тем не менее перевод дается без исключения этих элементарных сведений, чтобы не была нарушена полнота освещения того или иного вопроса и чтобы книга в результате выборочного перевода не представляла собой комплекса не связанных между собой сведений.

Кроме того, полный перевод дает лучшее представление об общем состоянии техники водоснабжения в США и частично в других зарубежных странах, поскольку в книге приводятся иногда ссылки на эти страны.

Далее, среди основных и элементарных сведений сообщается много данных нормативного характера, которые либо соответствуют принимаемым у нас, либо отличаются от них. В том и другом случае сообщаемые нормативные данные представляют для нас интерес — в первом случае потому, что совпадение дан-

ных является некоторым подтверждением их правильности, а во втором случае потому, что позволяют произвести сравнительный анализ их, исходя из условий, свойственных нашим и зарубежным технике и экономике.

Наконец, достаточно полный перевод книги, являющейся, как сказано, учебником, дает представление об объеме знаний в области водоснабжения, который требуется от изучающих эту дисциплину в США.

Положительной особенностью книги является наличие большого числа ссылок на различные литературные источники, главным образом на периодические издания. Это дает возможность, в случае необходимости, более углубленного ознакомления с тем или иным вопросом по использованным авторами источникам. Необходимость в этом может возникнуть особенно потому, что многие вопросы освещены в книге лишь в самых общих чертах с расчетом на то, что более углубленно вопрос должен быть изучен по используемым источникам. Наличие большого числа ссылок позволяет рассматривать книгу как своего рода справочное библиографическое пособие.

Гидравлическому расчету водопроводной сети уделено достаточное внимание, но издаваемая методика расчета не отличается достаточной стройностью. Это в сильной степени затрудняет понимание приводимого метода расчета Харди-Кросса, широко распространенного в США. Пониманию сущности расчета помогает приводимый пример расчета, но, к сожалению, в нем имеется ряд неясных мест (см. примечания к русскому переводу в конце книги).

Совершенно обойден расчет сети с контррезервуаром и нет даже упоминания о возможности такого случая. Отсутствуют и такие вопросы гидравлического расчета, как определение требуемого напора насосов и высоты водонапорной башни, хотя эти вопросы являются основными при расчете любой водопроводной сети.

Значительно развита глава, касающаяся водопотребления. Приводятся многочисленные статистические данные, характеризующие объем фактического водопотребления в разных городах. Представляют немалый интерес данные о суточных и часовых колебаниях водопотребления. Приводимые сведения свидетельствуют о большом разнообразии расходования воды на душу населения в разных городах США. Однако отсутствие анализа причин, обуславливающих такое разнообразие, в значительной мере обесценивает эти данные. Вообще же в США, видимо, нет обязательных расчетных норм душевого водопотребления в зависимости от тех или иных условий, как это имеет место у нас. Что касается расхода воды на пожаротушение, то в США пользуются нормами, установленными Правлением национального объединения страхователей от огня. Нормы расхода воды для тушения пожаров значительно превышают принятые у нас. В отно-



шении водопотребления для технологических производственных процессов приводятся, по-видимому, случайные данные по некоторым отраслям промышленности.

Достаточно полно представлено оборудование водопроводных сетей, хотя в ряде случаев описание сложного оборудования дается с излишней схематичностью, затрудняющей понимание работы оборудования (например, гасители гидравлического удара, воздушные вантузы, предохранительные клапаны и др.).

Весьма отрывочны сведения о противокоррозионной изоляции трубопроводов, битумной и цементной облицовке трубопроводов, катодной защите. Приводимые сведения не дают возможности хорошо ознакомиться с этим вопросом. Вместе с тем приводится достаточно большой перечень литературы по изоляции трубопроводов, что в некоторой степени устраняет указанный недостаток.

Не в пример всем другим главам, хорошо развиты все главы, относящиеся к характеристике качества воды и способам очистки и дезинфекции воды. Правда, и в этих главах нет достаточно полных сведений по многим вопросам, но довольно широко представлен библиографический материал, что позволяет, в случае необходимости, хорошо ознакомиться с указанными вопросами по первоисточникам.

Вообще, главы, относящиеся к характеристике качества и очистки воды, представляют собой общий обзор этой отрасли техники водоснабжения, хотя и без детализации мелких вопросов. Большим достоинством этих глав является наличие многих нормативных данных (например, допустимое содержание в воде разных веществ, количество добавляемых реагентов, скорость фильтрования, продолжительность отстаивания и др.). Представляет интерес описание, хотя и схематическое, некоторого оборудования, применяемого в США и мало известного у нас (например, дренажи скорых фильтров, дозаторы сухих реагентов, устройства для растворения реагентов и др.).

Наряду с широко распространенными в США способами очистки воды приводятся и такие, которые в настоящее время уже не применяются. Несоразмерно много внимания уделяется медленному фильтрованию, которое, как указывают и сами авторы, в настоящее время нигде (кроме Англии) не применяется.

В главах, касающихся очистки воды, к сожалению, нет данных расчетного порядка. Возможно, что это и не входило в задачу авторов.

В книге имеется ряд опечаток и ошибок. Заведомые опечатки по мере возможности устранены при переводе, что же касается ошибок или неясных мест, то они оставлены в таком виде, как они приведены в оригинале, но даны соответствующие примечания. Номера примечаний поставлены в квадратных скоб-

ках, а сами примечания помещены в конце книги с указанием страниц, к которым они относятся.

Несмотря на указанные выше недостатки, данная книга должна представить интерес для наших специалистов главным образом потому, что она, как уже сказано, дает известное представление о состоянии техники водоснабжения и ее перспективах в США, а частично и в некоторых других зарубежных странах.

Центральный институт научной информации по строительству и архитектуре выражает свою благодарность за полезные указания рецензентам перевода действ. чл. АСИА СССР Ф. А. Шевелеву и канд. техн. наук П. В. Лобачеву, а также д-ру техн. наук проф. В. А. Клячко за ценные консультации по разделам, касающимся очистки воды.

*Центральный институт научной информации  
по строительству и архитектуре*

---

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ К АНГЛИЙСКОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящее, пятое издание отличается от четвертого, может быть, в большей степени, чем любое из этих четырех отличается от предыдущего. При подготовке настоящего издания авторы стремились дать новейшие сведения из практики водоснабжения.

В связи с включением в книгу сведений, касающихся водоснабжения промышленных предприятий, объем книги несколько расширен. Поскольку техника водоснабжения быстро меняется, в книгу пришлось внести ряд соответствующих исправлений. Во избежание увеличения размеров книги при включении в нее нового материала пришлось выбросить часть старого материала.

Особое внимание в учебнике уделяется проектированию. Учебник дополнен ссылками в виде подстрочных примечаний и сносок, что должно облегчить читателю дальнейшее изучение различных вопросов, относящихся к данному предмету.

Данное пособие можно рекомендовать главным образом студентам-выпускникам и инженерам-практикам.

*Г. Е. БЭББИТ*

---



## Глава I

### ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ

**1. Определение расчетного водопотребления.** Период, на который рассчитывается водопотребление, зависит в некоторой степени от вида проектируемых водопроводных сооружений, а также от формы финансирования их строительства.

Если сооружение рассчитано на продолжительный срок службы и должно обслуживать будущий прирост населения, было бы несправедливо все расходы по финансированию водопроводных сооружений возлагать на настоящее население. С другой стороны, было бы неблагоприятным и неэкономичным строить сооружения на короткое время. В некоторых штатах законом установлен предельный срок для аннулирования муниципальных обязательств в 20 лет. Этот срок является основанием для проектировщика, если не имеется других данных.

При вычислении будущего водопотребления нередко пользуются данными о существующем водопотреблении. Эти данные могут быть получены на основе записей количества воды, поданной насосными станциями, по показанию водомеров или из других каких-либо источников.

При использовании этих данных нужно внести поправку на изменение условий в результате предполагаемого усовершенствования.

**2. Население и нормы водопотребления.** Некоторые нормы водопотребления приведены в табл. 1. Никакого определенного соотношения между численностью населения и нормой водопотребления на 1 человека из данных в табл. 1 установить нельзя. Тем не менее можно считать, что норма водопотребления на 1 человека в более крупных населенных пунктах больше, чем в небольших пунктах, и с увеличением числа жителей в населенном пункте увеличивается и норма водопотребления на 1 человека. Частично это объясняется увеличением водопотребления промышленными предприятиями и на нужды города.

Исследования, произведенные Капеном<sup>1</sup>, показывают, что

<sup>1</sup> С. Н. Сапен, Jr, J. A. W. W. A., [vol. 29, p. 201, 1937, Water Works Eng., February, 17, 1937, p. 212.

## Нормы водопотребления

Населенный пункт	Год	Численность населения в тыс.	Количество расходуемой воды, учтенной водомерами, в %		Потребление на 1 чел. в день			
			на хозяйственные нужды	на промышленных предприятиях	до установки водомеров		после установки водомеров	
					галлонов	л	галлонов	л
Фейетвилл, Арканзас	1910	5	0	0	100	378	—	—
	1932	—	100	100	—	—	65	246
Джонсборо, Арканзас	1924	9	50	50	111	42	—	—
	1932	11	100	100	—	—	69	261
Сан-Франциско, Калифорния	1910	417	0	24	85	321	—	—
	1920	508	100	100	—	—	71	268
Левистон, Идахо	1920	6,6	79	79	215	813	—	—
	1932	15	100	100	—	—	175	661
Мадисоквиль, Кентукки	1920	8	0	0	225	—	—	—
	1932	9	100	100	—	—	105	397
Куниси, Массачусетс	1910	33	36	—	88	333	—	—
	1920	49	92	—	93	352	—	—
	1932	74	100	—	—	—	69	261
Флинт, Мичиган	1910	39	15	50	113	427	—	—
	1932	150	100	100	—	—	91	344
Хастингс, Мичиган	1900	5,1	10	0	180	680	—	—
	1932	5,1	98	100	—	—	80	302
Ридинг, Пенсильвания	1900	78	0	80	92	348	—	—
	1932	118	100	100	—	—	91	344
Гринвиль, Теннесси	1920	3,8	15	80	117	442	—	—
	1932	6,2	100	100	—	—	60	227
В среднем	—	—	—	—	133	503	88	333

для приблизительного определения степени увеличения водопотребления на душу населения могут быть применены следующие выражения.

Для систем, полностью снабженных водомерами, при незначительных утечках

$$G = 53 P^{0,11}.$$

Для средних систем, хорошо снабженных водомерами,

$$G = 54 P^{0,125},$$

где  $G$  — расход воды в галлонах на человека в день;

$P$  — численность населения в тысячах.

**3. Определение прироста населения**<sup>1</sup>. Для определения будущей численности населения могут быть применены следующие способы:

- 1) математический или графический;
- 2) использование данных по переселению жителей и естественному приросту населения;
- 3) предварительное вычисление, основанное на специальных подсчетах роста численности рабочих.

Математический или графический метод, предусматривающий рациональное использование данных по экономике и других условий обслуживаемой территории, в практике водоснабжения применяется наиболее часто.

Математический или графический способ в свою очередь разделяется на ряд видов.

1) Способ арифметической прогрессии, при котором прирост населения определяется путем прибавления в каждый какой-либо период постоянного числа населения. Например, если за последнее десятилетие население увеличилось с 100 000 до 110 000, то в последующее десятилетие оно должно увеличиться также на 10 000, т. е. до 120 000.

2) Способ геометрической прогрессии, при котором прирост населения за какой-либо период выражается в одном и том же проценте от численности населения в начале периода. Например, если за последнее десятилетие население возросло с 100 000 до 110 000, т. е. на 10%, то за последующие десять лет население должно увеличиться до 121 000 [1].

3) Способ уменьшающейся степени увеличения, т. е. подобно геометрической прогрессии, но при условии произвольного предположения о степени увеличения, меньшей чем при геометрической прогрессии.

4) Графическое изображение по годам численности населения в виде кривой и удлинение этой кривой для последующих годов на основе математических вычислений или обработки статистических данных, или приблизительно с учетом местных условий.

5) Удлинение кривой роста населения по годам, предложенное Вельцем и Эйчем, основанное на измененной теории Ферхульста<sup>2</sup>.

6) Графическое сравнение, при котором кривая роста населения какого-либо населенного пункта наносится на основе сравнения с кривыми роста населения подобных и более крупных населенных пунктов. При этом способе кривые роста населения разных населенных пунктов наносятся пунктиром, как показано

<sup>1</sup> См. также: Van Buren Stanbery, Better Population Forecasting for Areas and Communities, U. S. Dept. Commerce, Domestic Commerce Series, 32, 1952.

<sup>2</sup> C. S. Veiz and H. F. Eich, Civil Eng., October, 1940, p. 619.

<sup>3</sup> См. P. F. Verhulst, Recherches mathematiques sur la loi d'arcoissement de la population, Mem. acad. roy, Bruxelles, vol. 18, 1844, pp. 1—58.



на рис. 1, причем кривые всех других городов проходят через точку, отвечающую настоящему населению города, для которого производится вычисление. Предположения, основанные на исследовании вопросов, касающихся перемещения населения, естественного прироста, ожидаемого развития промышленности и экономических условий и других факторов, могут быть учтены предварительно, путем внесения коррективов к результатам определенным способом «графического сравнения». Эти коррективы, основанные на логическом изучении условий, имевших место в прошлом и могущих быть в будущем, обеспечивают получение точных расчетных данных.

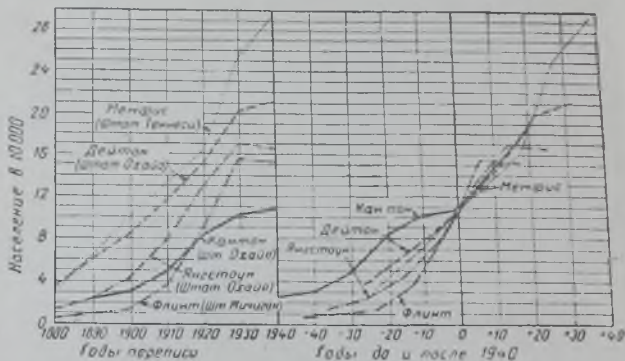


Рис. 1. Определение будущей численности населения путем графического сравнения (на примере г. Кантона, штата Огайо, с численностью населения в 1970 г. 176 000 человек)

Сведения о населении за прошедшие годы и в настоящее время по тому или иному населенному пункту можно получить из таких источников, как федеральная перепись, школьные переписи и данные городских управлений.

**4. Нормы водопотребления.** Один человек при нормальных условиях труда и при умеренной затрате физических сил потребляет для питья менее одной кварты (0,95 л) воды в день. Однако количество воды, потребляемое человеком для других нужд, при нормальных условиях относительно больше. Эти нужды включают приготовление пищи, стирку белья, расход воды в коммунальных и промышленных предприятиях и для городских нужд.

Статистические данные, приведенные в табл. 1, показывают, что размеры водопотребления в разных населенных пунктах различны.

Для армии США установлено как абсолютный минимум водопотребления 2 кварты (1,9 л) в день в течение периода продолжительностью не свыше 3 дней<sup>1</sup>.

В некоторых крупных городах США потребляется более миллиарда галлонов воды в день, причем норма водопотребления на 1 человека составляет свыше 300 галл. (1100 л). Если нет специальных указаний о норме водопотребления, то обычно принимают 100 галл. (380 л) на 1 человека в день<sup>2</sup>.

Изучение статистических данных<sup>3</sup> водопотребления в США выявляет тенденцию все увеличивающейся нормы водопотребления на 1 человека, что указывает на неправильность принятия средней нормы. Лангбеин<sup>4</sup> приводит данные, указанные в табл. 2 и 3. По его словам, вследствие увеличения водопотребления эта цифра повысилась до общей средней цифры 127 галл. (480 л) на 1 человека в день и во многих западных населенных пунктах даже более чем до 300 галл. (1100 л) на 1 человека в день.

Маккичан<sup>5</sup> указывает, что «...муниципальные системы водоснабжения в 1950 г. обслуживали 93,5 милл. человек, при норме водопотребления в среднем 145 галл. (550 л) в сутки на человека...».

Нормы водопотребления в европейских городах обычно меньше, чем в городах США, и обычно колеблются от 15 до 100 галл. (55—375 л) на человека в сутки. Это может быть объяснено более высоким процентом жилых зданий в Европе, оборудованных меньшим числом водопроводных устройств, частично менее высоким жизненным уровнем в большинстве европейских городов, а также меньшей расточительностью европейских домовладельцев.

**5. Потребление воды для специальных целей.** Общее количество воды, используемой для специальных целей, может быть выражено в процентах от общего водопотребления следующим образом: для бытовых нужд 35%; для промышленных и торговых предприятий 39%; для общественных нужд 10%; для разных других нужд, включая утечку, 16%. В величину водопотребления для общественных нужд могут быть включены все расходы для муниципальных нужд, как-то: на очистку и мытье улиц, на общественные фонтаны, школы и другие муниципальные нужды, за исключением расхода на противопожарные нужды, который обычно бывает невелик.

<sup>1</sup> Military Water Supply and Purification, War Dept. Tech. Manual TM5-295. August, 1945.

<sup>2</sup> См. также В. О. Larson and H. E. Hudson, Jr. J. A. W. W. A., August, 1951, p. 603.

<sup>3</sup> A Survey of Operating Data for Water Works in 1945, J. A. W. W. A., February, 1948, p. 167; „Inventory of Water and Sewage Facilities in the U. S.“, U.S. Public Health Service, 1948.

<sup>4</sup> W. B. Langbein, J. A. W. W. A., November, 1949, p. 997.

<sup>5</sup> K. A. MacKichan, Estimated Use of Water in the United States, U. S. Geol. Survey, Bull, 115, May, 1951.

**Сравнительные данные по увеличению водопотребления  
с увеличением численности населения\***

Показатели	1890 г.	1945 г.
Число водопроводов . . . . .	1 878	15 400
Обслуживаемое население в миллионах . . . . .	28,8	94,39
Общий процент ко всему населению США . . . . .	36	71
Среднее потребление в галл. на 1 человека в день . . . . .	90	127
Общее (подсчитанное) водопотребление в млн. галл. в день . . . . .	2 050	12 030

\* Из W. B. Langbein, J. A. W. W. A., November, 1949, p. 997.

**Норма водопотребления на 1 человека в сутки,  
в зависимости от численности населения\***

Население в тыс. человек	0,5	1,0	5,0	10	50	100
Среднее водопотребление на 1 че- ловека в сутки:						
в галл. . . . .	60	85	135	140	140	140
в л . . . . .	225	320	510	530	530	530

\* Из W. B. Langbein, J. A. W. W. A., November, 1949, p. 997.

В некоторых городах величина промышленного водопотребления превышает величину водопотребления для муниципальных нужд.

Сведения по водопотреблению для специальных целей, кроме расхода воды промышленностью, приводятся в табл. 4—6.

**6. Водопотребление промышленных предприятий<sup>1</sup>.** Сведения относительно промышленного водопотребления приведены в табл. 7.

**7. Расход воды на тушение пожаров.** Противопожарная защита является одной из важнейших функций водопровода. Общее количество воды, расходуемой в год на тушение пожа-

<sup>1</sup> См. также H. E. Jordan, J. A. W. W. A., January, 1946, p. 65; там же, March, 1953, p. 289; Task Group Report, там же, December, 1953, p. 1249.



ров, составляет обычно незначительную часть общего водопотребления, но во время пожара расход воды настолько велик, что является решающим фактором (во всех населенных пунктах, за исключением самых больших) для установления производительности насосов, емкости резервуаров и пропускной способности распределительных трубопроводов.

Таблица 4

Размеры водопотребления для различных целей\*

Наименование водопотребителя	Количество воды в сутки		Наименование водопотребителя	Количество воды в сутки	
	галл.	л		галл.	л
Только для хозяйственно-бытовых нужд на 1 человека . . . . .	10	38	Административные здания** . . . . .	27—45	100—170
Города в Нью-Йорке, Нью-Джерси и Нью-Инглэнде на 1 человека	26—44,5	100—170	Больницы на 1 койку** . . . . .	125—350	475—1325
Дома для одной семьи в 1927 г.			Больницы*** на 1 комнату . . . . .	66—1144	229—4324
Вест-Хэвен, Коннектикут*	36,8	140	В среднем . . . . .	400	1512
Нью-Хэвен, Коннектикут . . . . .	59,4	225	Гостиницы** на 1 комнату . . . . .	306—525	1150—2000
			Прачечные** на 1 фунт белья . . . . .	3—5,7	11—2,2
			Рестораны** на 1 блюдо . . . . .	0,5—4	1,9—15

\* Из M. A. Pond, J. A. W. W. A., December, 1939, p. 2003.  
 \*\* Из N. E. Jordan, J. A. W. W. A., там же, January, 1946, p. 65.  
 \*\*\* Из G. C. St. Laurent, Hotel. Eng., 1940

Таблица 5

Расход воды для скота на одну голову в сутки\*

Наименование	Расход воды	
	галл.	л
Лошади . . . . .	10	38
Крупный рогатый скот . . . . .	10	38
Мулы . . . . .	10	38
Молочные коровы . . . . .	10	55
Свиньи . . . . .	0,08	15
Куры . . . . .	0,08	11
Овцы . . . . .	0,08	11
Индюшки . . . . .	0,08	11
Козы . . . . .	0,08	11

\* Из K. A. MacKichan, U. S. Geol. Surrey, Bull. 115, May, 1951.

Расход воды для различных целей (в сутки)\*

Наименование	Расход воды	
	галл.	л.
Дома для одной семьи на 1 человека . . . . .	35—50	130—190
Многоквартирные дома на 1 человека . . . . .	50—90	190—340
Начальная школа на 1 ученика . . . . .	5—10	20—40
Средняя школа на 1 ученика . . . . .	15—20	55—75
Больницы на 1 пациента . . . . .	125—225	470—850

\* Из Am. City, November, 1951, p. 115.

Расход воды для противопожарных целей зависит от численности населения. Чем она больше, тем больше число построек, а поэтому и больше опасность возникновения пожаров. Минимальный расход воды для тушения пожара должен быть достаточным для тушения самых сильных пожаров, могущих возникнуть в населенном пункте. В любой точке защищаемой площади должно быть получено не менее четырех пожарных струй. В районах наименьшей пожарной опасности производительность струй должна быть не менее 11 л/сек, а в районах повышенной пожарной опасности—16 л/сек.

Для расчета общественного водоснабжения Правление национального объединения страхователей от огня устанавливает требуемое количество воды для противопожарных целей, исходя из численности населения и характера застройки района. Требуемое количество воды составляет: на 1 000 чел.—63 л/сек, на 200 000 чел.—750 л/сек; максимальное количество достигает—1 250 л/сек. Должно быть обеспечено количество воды, достаточное для тушения пожара в городах с численностью населения менее 2 500 человек в течение 5 час. и в более крупных городах в течение 10 час. Давление в гидранте должно быть в основном не менее 1,4 ат, если применяются передвижные пожарные машины, и 5,3—6,3 ат в других случаях.

Авторитетные рекомендации в отношении максимального количества воды, которые необходимо учитывать при проектировании водопроводных сооружений, указаны в табл. 8.

Это максимальное количество включает в себя пожарный расход и водопотребление на обычные хозяйственные нужды во время пожара.

**8. Колебания водопотребления<sup>1</sup>.** Водопотребление в значительной степени колеблется на протяжении того периода, на ко-

<sup>1</sup> См. Water Works Eng, June 12, 1946, p. 702, а также M. P. Hatcher, Water & Sewage Works, May, 1947, p. 157.

## Расход воды для промышленных предприятий

Производство <sup>1</sup>	Число про- мышленных предприятий	Единица измерения	Объем про- дукции в млн. единиц	Вычисленное водопотребление				Производство <sup>2</sup>	Единица измерения	Водопотребление на еди- ницу измерения	
				на 1 000 единиц		за год (1947)				галл.	л
				галл.	л	млрд. галл.	млрд. л				
Обработка стали . . .	419	танк [2]	61,86	65	246	4 021	15 199	Искусственный шелк	тонна	250—404	945—1 527
Очистка нефти . . .	437	барель	1 888	0,77	2,91	1 454	5 496	Отбелка хлопка . . .	"	60—80	227—302
Газолин . . .	—	"	791	0,36	1,36	791	2 990	Шерстяные материи	тыс. кв. яр- доб	40—510	151—1928
Древесная пульпа:								Мыло . . . . .	тонна	0,5—4,5	1,9—15,0
при сульфатной	—	тонна	5,36	64	242	343	1 297	Искусственный лед . . .	"	0,25—0,9	0,95—3,4
при сульфитной	—	"	2,80	60	227	168	635	Пар, выработка элек- троэнергии . . . . .	тыс. квт-ч	52—170	197—643
при натровой (со- довой) обработке	—	"	0,49	85	321	4,17	15,76	Тростниковый сахар . . .	тонна	4—30	15—113
Бумага . . . . .	—	"	10,6	39	147	415	1 569	Виски . . . . .	тыс. галло- нов	70	265
Древесно-волоконистые плиты . . . . .	665	"	9,19	15	57	138	522	Жидкое молоко . . . . .	цистерна	(63—207) <sup>10в</sup>	(238—782) <sup>10в</sup>
Пиво . . . . .	440	барель	88,0	0,47	1,78	41,37	156,38	Консервированная ку- куруза № 2 . . . . .	ящик	0,0072	0,0272
Кокс . . . . .	167	тонна	79,1	3,6	13,6	284,5	1 075,4	Консервированная фа- соль № 2 . . . . .	"	0,0035	0,0132
Молоко, сливки, масло	—	фунт	72 440	0,00011— 0,00025	0,00042— 0,00095	12, 3	4,65	Упаковка мяса (свеже- го) . . . . .	"	6,0	22,7
Консервы <sup>3</sup> . . . . .	2 265	ящик	391	0,0075—0,250	0,0283—0,945	8,5	32,1	Сталь, обработка . . . . .	тонна	65	246
Искусственный лед . . .	3 423	тонна	36,1	0,24	0,91	8,8	33,3	Сталь, холодная про- катка . . . . .	"	6,0	22,7
Безалкогольные напит- ки . . . . .	5 618	ящик	928	0,0025	0,0945	6,25	23,63	Сталь, горячая про- катка . . . . .	"	15—110	57—416
Промывка шерсти . . .	74	фунт	210	0,0013	0,0049	2,65	10,02	Авиационный газолин	барель	1,05	3,97
Дубление . . . . .	561	"	239	0,008	0,030	1,9	7,2	Нефтепродукты . . . . .	"	0,15—15	0,57—57
Упаковка мяса (свини- ны) . . . . .	2 153	голова	5,17	0,011	0,042	0,57	2,15				
Искусственный шелк всех сортов . . . . .	38	фунт	747	0,00016	0,0006	0,12	0,45				

<sup>1</sup> Из U. S. Census of Manufactures, 1947. См. Sewage and Ind. Wastes, February, 1951, p. 212.<sup>2</sup> Из Water and Industry. National Association of Manufacturers, New York, December, 1950.<sup>3</sup> Исключая рыбу; имеется в виду вода, применяемая только в производственном процессе. Общее используемое количество возможно больше в 2 или 3 раза.

## Эмпирические формулы для определения противопожарного расхода

Название автора или наименование учреждения	В формуле: Q — расход в галл/мин; P — население в тыс.	Расход на 100 000 населения в галл/мин
Кичлинг (для пожарных струй производительностью 250 галл/мин) . . .	$Q = 700 \sqrt{P}$	7 000
Джон Р. Фриман . . . . .	$Q = 250 \left( \frac{P}{5} + 10 \right)$	7 500
Правление национального объединения страхователей от огня . . . . .	$Q = 1\,020 \sqrt{P} (1 - 0,01 \sqrt{P})$	9 180

торый производится расчет, как это видно из табл. 9. Чем меньше расчетный срок, тем больше отклонение от среднего показателя, определяемого за длительный промежуток времени. Отклонения от годового среднего показателя по имеющимся данным указаны в табл. 9.

Норма водопотребления летом и зимой в умеренном климате обычно выше средней годовой нормы. Летом потребление воды увеличивается в связи с поливками, купанием и расходом воды на охлаждение. Зимой расход воды может увеличиваться в связи со сбросом воды для предотвращения замерзания трубопроводов. Месячная норма водопотребления в некоторых городах в штате Массачусетс приведена в табл. 10. В курортных городах расход воды в месяцы с максимальным расходом, по некоторым данным<sup>1</sup>, колеблется от 125 до 252% от среднемесячного расхода за год.

Колебания водопотребления по дням и часам показаны на графиках (рис. 2 и 3). Эти графики характеризуют некоторые особенности водопотребления. Заметные колебания давления в сети, указывающие на изменение в водопотреблении, как было замечено, связаны с некоторыми событиями общественного характера, например воздушной тревогой, а также некоторыми передачами по радио и телевидению<sup>2</sup> [3].

Как правило, расход воды в небольших городах больше всего в утренние часы и по понедельникам. Во всех вообще городах расход воды меньше всего по воскресеньям и в течение нескольких утренних часов в понедельник. Типовая диаграмма недельного расхода воды с указанием часовых колебаний (по данным насосной станции в Епрингфильде штата Массачусетс) показана на рис. 4<sup>3</sup>. Изучение этой диаграммы позволяет

<sup>1</sup> S. S. Keller, J. A. W. W. A., September, 1951, p. 694.

<sup>2</sup> См также M. H. Finch „Water & Water Eng., October, 1948, p. 467; G. J. Van Dorp. Public Works, March, 1953, p. 64.

<sup>3</sup> C. G. Richardson, Water Works Eng., July, 28, 1943, p. 831.



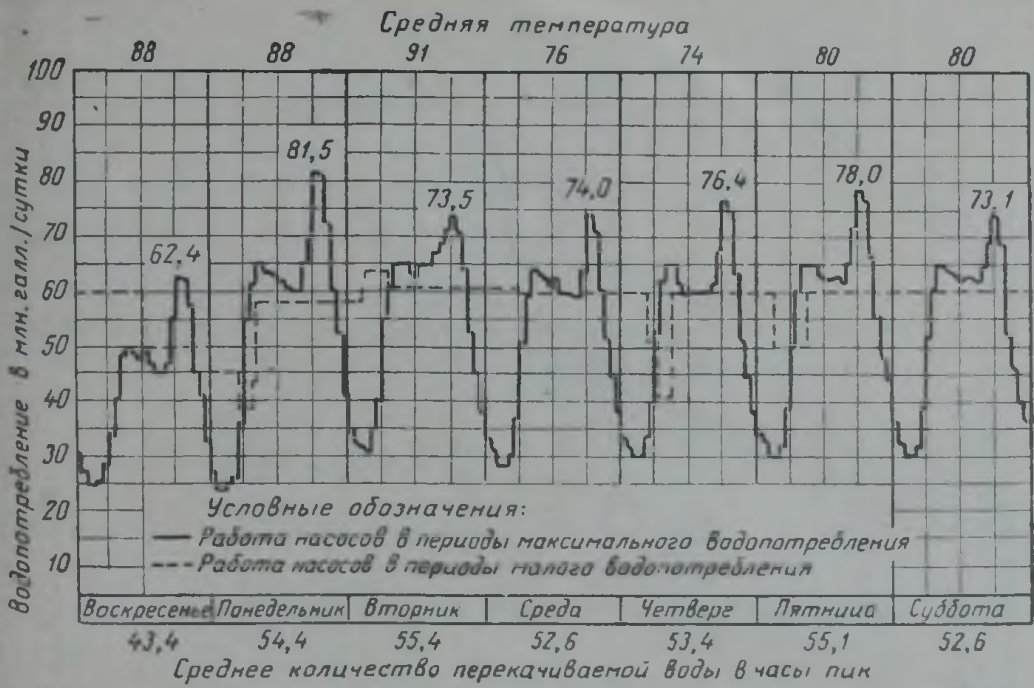


Рис. 2. График недельного водопотребления от 12 июля до 18 июля 1936 г. в Toledo, штата Охайо (по материалам Burns and McDonnell Engineering Co)

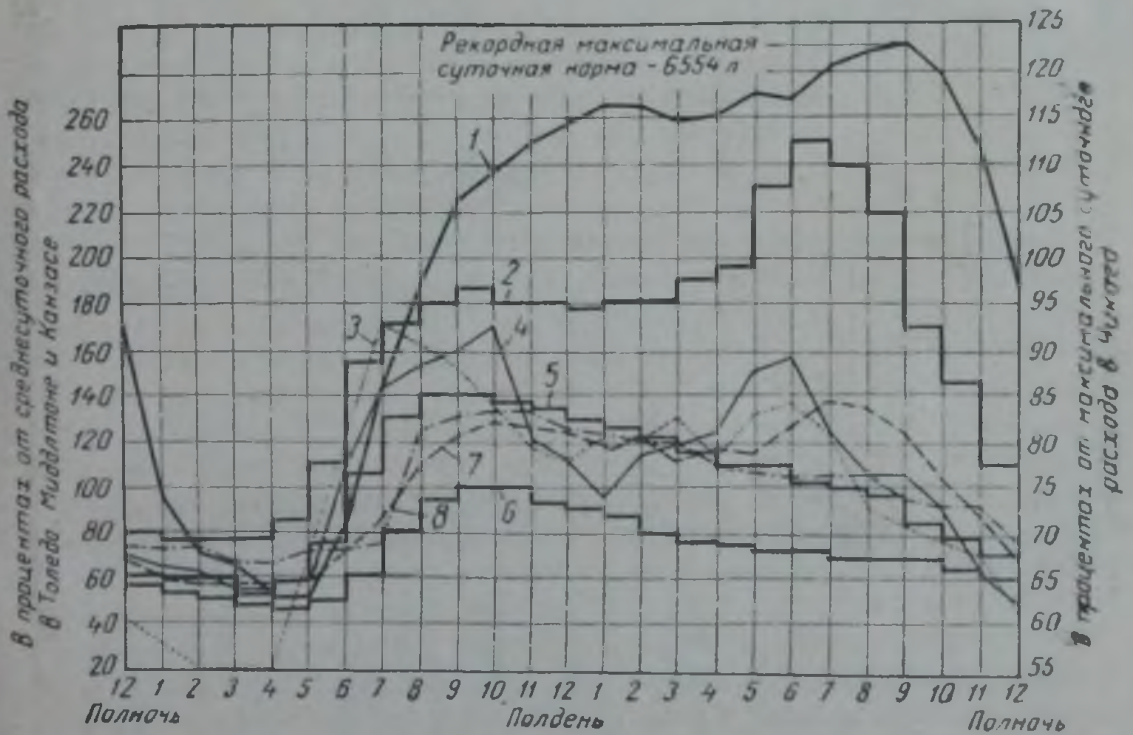


Рис. 3. График часовой подачи воды насосами в г. Канзасе, штат Миссури (из M. P. Hatcher. Water & Sewage Works, May, 1947, p. 158) в г. Миддлтоне, штат Массачусетс (из Water Works Eng., July 12, 1944, p. 822) и г. Toledo, штат Охайо (из Burns and McDonnell Engineering Co, 1937)

1 — Чикаго, день максимального водопотребления 6 августа 1947 г.; 2 — Toledo, день максимального водопотребления; 3 — Миддлтон, 2 ноября 1939 г.; 4 — Миддлтон, 12 апреля 1944 г.; 5 — Toledo, день среднего расхода; 6 — Toledo, день минимального расхода; 7 — Канзас, летний день с максимальным расходом; 8 — Канзас, обычный зимний день. В г. Канзасе, штат Миссури, среднее количество поданной насосами воды в летний день с максимальным водопотреблением составляло 330 000 м<sup>3</sup>, а в обычный зимний день 210 000 м<sup>3</sup>

## Максимальные и минимальные размеры водопотребления\*

Т а б л и ц а 9

Количество воды, поданной насосами, в пяти городах разного типа						Рекомендуемые расчетные расходы в % от среднего за год в соответствующие периоды				
Показатели	Тип города					период времени	при населении менее 100 000		при населении более 100 000	
	жилой	индустриальный	жилой	жилой	индустриальный		максимальный	минимальный	максимальный	минимальный
Население в тыс. . . . . .	37,4	100,4	110,5	307	320	Месяц	120—150	75—90	110—130	80—90
Среднее количество воды, поданной насосами за сутки, на душу населения . . . . .	375	365	240	215	520	Сутки	150—250	50—75	125—175	60—80
Максимальный суточный расход в % от среднего суточного . . . . .	138	182	196	175	160	Час	300—400	25—50	200—300	50—75
Максимальный часовой расход: в % к часовому расходу в день максимального водопотребления:	158	205	222	172	165					
то же, в день среднего водопотребления . . . . .	218	384	440	305	262					
Запас для уравнивания часового пикового водопотребления в л на душу . . . . .	91	125	117	53	189					
в % к максимальному суточному расходу . . . . .	18	19	25	14	23					
Количество воды, поданное насосами в часы пик, сниженное благодаря наличию регулирующего запаса воды, в л на душу . . . . .	302	696	582	276	529					
в % к максимальному суточному расходу . . . . .	37	51	55	42	39					

\* C. B. Burdick, Water and Sewage Works, April, 1952, p. R-35.

**Водопотребление в различные месяцы года\***  
(средние показатели за 10-летний период  
в городах)

Месяц	Процент от среднемесячного расхода за год	Месяц	Процент от среднемесячного расхода за год
Январь	90	Июль	124
Февраль	92	Август	118
Март	89	Сентябрь	108
Апрель	87	Октябрь	96
Май	100	Ноябрь	90
Июнь	113	Декабрь	92

\* J. New Engl. Water Works Assoc., vol 27, 1913, p. 85.

произвести анализ часовых и суточных колебаний водопотребления. Площадь, ограниченная кривой, характеризует колебание расхода воды по часам. На рис. 5 приведена типовая кривая продолжительности водопотребления. Такая кривая показывает продолжительность времени с той или иной величиной потребления. Из кривой видно, например, что на протяжении 90% года расход составляет 143% и меньше от среднесуточного расхода, а на протяжении 50% года — расход составляет 96% и меньше от среднесуточного расхода.

**9. Условия, влияющие на нормы водопотребления.** На нормы водопотребления оказывают влияние размеры населенного пункта, его местоположение, жизненный уровень населения, давление в распределительной системе, качество и стоимость воды, наличие канализационной сети, процент водопотребителей, у которых установлены водомеры, и другие условия.

**10. Местоположение и климат.** Размеры водопотребления в городах, находящихся в северной части Соединенных Штатов, обычно больше, чем в городах таких же размеров южных районов. Это объясняет и разницу между размерами водопотребления в европейских и американских городах. Колебания температуры в северной части США значительнее, чем на юге США и в Европе. В течение продолжительных жарких периодов вода расходуется на поливку садов, лугов и для целей охлаждения, а зимой, во время сильных холодов, воду пускают свободно во избежание замерзания трубопроводов. В таких городах, где производится поливка в садах и на лугах, в особенности в засушливых районах, водопотребление должно быть больше, по сравнению с городами, находящимися в районах, где осадки выпадают более равномерно. В условиях влажного, тропического островного климата (Гаванна, Куба) среднее годовое водопотребление составляет



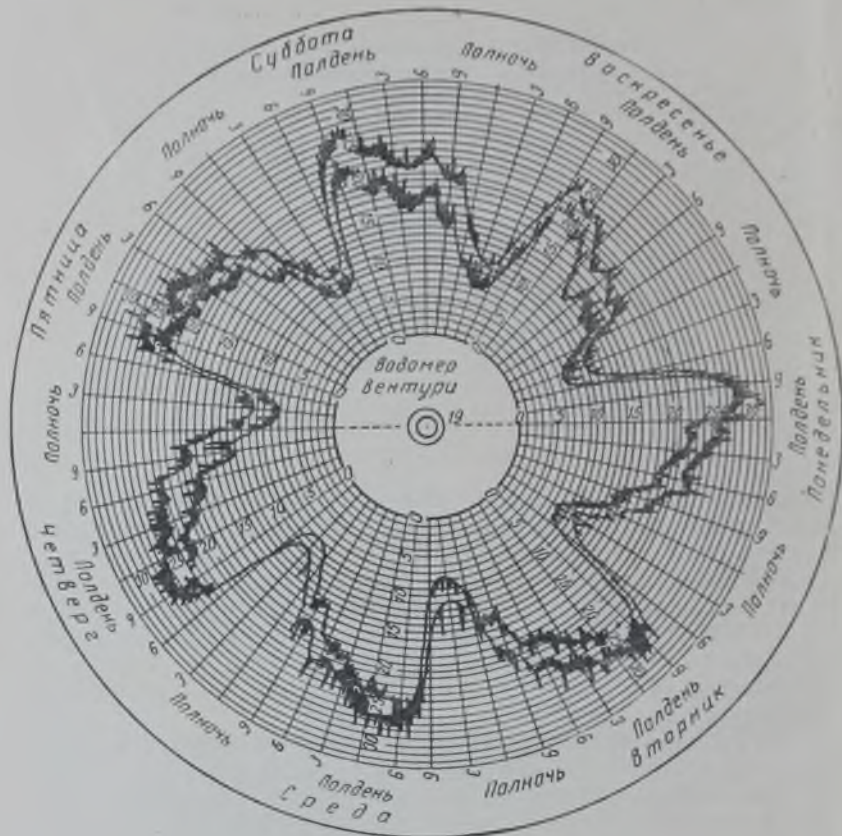


Рис. 4. Графики часовых колебаний расхода воды, поданной насосами в г. Спрингфилде, штата Миссури, в течение недели с 17 марта 1943 г. (наружная кривая) до 24 марта 1943 г. (внутренняя кривая) (из С. G. Richardson, Water Works Eng., July 28, 1943, p. 831)

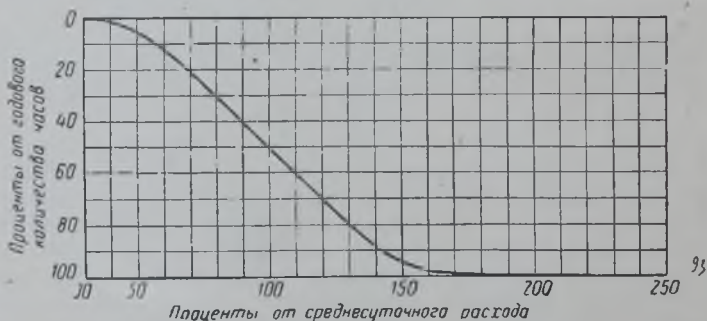


Рис. 5. Кривая продолжительности водопотребления



80 галл. (300 л) на человека в сутки, т. е. меньше чем в большинстве городов таких же размеров в более высоких широтах в США.

**11. Характер района.** Города и районы городов могут быть разделены на индустриальные, торговые и жилые. Жилые районы в свою очередь могут быть разделены на районы для высших классов, средних классов и бедноты. Районы могут классифицироваться также по расовому признаку или по признаку длительности проживания жителей в данном районе или городе.

Характер района должен отражаться на норме водопотребления проживающих в нем жителей.

Размеры водопотребления в различных районах, в зависимости от их экономического состояния, приведены в табл. 11.

Таблица 11

Размеры водопотребления для хозяйственно-питьевых нужд в Нью-Хэвен, штата Коннектикут (1937 г.), в зависимости от экономического состояния района\*

Экономическое состояние района	Дома для одной семьи				Дома для нескольких семей					
	Число домов	среднее число членов семьи	водопотребление на 1 человека в сутки		водопотребление на 1 человека в сутки					
			в галл.	в л.	Две семьи		Три семьи		Четыре семьи	
				в галл.	в л.	в галл.	в л.	в галл.	в л.	
Отличное . . . . .	290	3,13	125	473	44,2	167	41,6	157	52,0	197
Хорошее . . . . .	162	3,20	85	321	39,7	150	42,2	160	43,1	163
Удовлетворительное . . . . .	66	3,07	55,7	211	42,3	160	51,2	194	44,6	169
Плохое . . . . .	335	3,77	38,0	144	27,5	104	37,6	142	27,0	102
	176	2,92	39,0	147	37,0	140	38,6	146	45,9	172
	470	3,82	33,0	125	31,0	117	31,9	121	36,7	139
	20	4,34	54,0	204	34,2	127	35,7	135	29,3	111

\* M. A. Pond, Urban Domestic Water Consumption, J. A. W. W. A., December, 1939, p. 2003.

Установлено, что жизненный уровень оказывает влияние на водопотребление: чем он выше, тем больше водопотребление.

**12. Давление воды.** Чем больше давление в распределительной сети, тем больше расход воды. Частично это происходит вследствие увеличения утечек и истечения больших количеств воды через открытые водопроводные краны. Известно, что при увеличении давления от 1,7 до 3,0 ат водопотребление увеличивается на 30%. Это обстоятельство заставляет проектировщиков принимать возможно меньшее давление, которое обеспечивало бы удовлетворительную работу водопроводной системы.

**13. Периодическая подкачка.** Если вода подается из водопровода не круглые сутки, как это практикуется в некоторых иностранных городах, то норма водопотребления может быть уменьшена, но она не пропорциональна времени, в течение которого производится подача воды.

Если вода подается с перерывами, то бесполезная трата воды увеличивается до такой степени, что в конечном счете количество расходуемой воды может остаться без изменения, т. е. такое же, как и в случае постоянной работы водопровода. Если периодическая подача воды не учитывается водомерами, то может войти в обычай у потребителей ставить специальные приемники под водопроводными кранами и у гидрантов, которые оставляют открытыми и в те периоды, когда вода не подается, с таким расчетом, чтобы водоприемники наполнялись сразу при возобновлении подачи воды. Так как за приемником никто не наблюдает, то при переполнении их вода из них выливается бесполезно. Кроме того, перед тем моментом, когда ожидается возобновление подачи воды, оставшуюся в приемниках воду выливают, чтобы освободить место для более свежей и чистой воды.

**14. Кондиционирование воздуха<sup>1</sup>.** Вода, необходимая для кондиционирования воздуха, может предназначаться для индивидуальных установок, однако трудно предугадать, каково будет общее водопотребление для этой цели<sup>2</sup>. Водопотребление для систем кондиционирования воздуха имеет сезонный характер, причем в летнее время, когда температура воздуха наиболее высока, количество расходуемой воды увеличивается.

**15. Увеличение водопотребления при устройстве канализации.** При устройстве канализации норма водопотребления увеличивается в связи с расширением системы трубопроводов и ввиду того, что расход воды не лимитируется ограниченной производительностью частных очистных установок, как это бывает при отсутствии канализации. Данные по этому вопросу приводятся в табл. 12.

**16. Стоимость воды.** При уменьшении стоимости воды водопотребление возрастает, как это видно из табл. 13.

**17. Влияние установки водомеров на норму водопотребления<sup>3</sup>.** При установке водомеров водопотребление обычно уменьшается, как это видно из табл. 3. В населенных пунктах, где водомеры не установлены, вода может расходоваться в количестве, превышающем действительную необходимость.

**18. Соображения о целесообразности учета воды.** Целесообразность установки водомеров является спорной<sup>4</sup>. Некоторые

<sup>1</sup> См. также Committee Report, J. A. W. W. A., August, 1953, pp. 867 ff; A. D. Henderson, Water Works Eng., April, 1948, p. 333.

<sup>2</sup> См. также Anon., Public Works, April, 1948, p. 91; L. D. Gayton, J. A. W. W. A., vol. 29, 1937, p. 808; vol. 30, 1938, p. 892; H. E. Babbitt, там же, vol. 30, 1938, p. 454.

<sup>3</sup> См. также K. T. Hoomon, J. A. W. W. A., May, 1950, p. 509.

<sup>4</sup> См. также Water Works Eng., November, 1952, p. 1058.

Средние нормы водопотребления до и после устройства канализации\*  
на 1 человека в л/сутки

Город	Число лет до устройства канализации							Число лет после устройства канализации									
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мальборо, шт. Массачусетс. . . . .	49	64	76	79	90	91	95	113	113	132	129	140	140	144	144	136	140
Ньютон, шт. Массачусетс. . . . .	106	117	125	125	117	136	150	189	197	227	246	238	227	215	138	234	238
Уолтхэм, шт. Массачусетс. . . . .	140	136	147	125	117	121	125	178	200	231	223	268	265	287	333	340	333
Медисон, шт. Висконсин . . . . .	Жилые дома, не оборудованные канализацией, 53 л на 1 человека в день							Жилые дома, оборудованные канализацией, 257 л на 1 человека в день									

\* Отчет Комитета статистики и регистрации водопотребления. J. New Engl. Water Works Assoc., vol., 27, 1913, p. 70.

Таблица 13

Соотношение между нормой водопотребления и стоимостью воды\*

Увеличение стоимости в %	Уменьшение нормы водопотребления в %
20	13
40	22
60	29
80	35
100	40

\* Leonard Metcalf, Effect of Water Rates and Growth of Population upon per Capita Consumption, J. A. W. W. A., vol. 15, 1926, p. 1.

пункты, которые могут быть спорными, указаны в табл. 14.

Тот аргумент, что водомеры требуют дополнительного давления для их работы, не состоятелен. Технические условия Американской Водопроводной Ассоциации допускают потерю напора в водомере 1,3 ат при расчетной пропускной способности<sup>1</sup>. Соображения, что водомеры обходятся дорого, также неправильны. В 1950 г. стоимость установки водомера диаметром 5/8" составляла 18—25 долларов. Сопп<sup>2</sup> указывает, что с точки зрения эксплуатации водопроводных сооружений водомеры себя оправдывают («зарабатывают себе на жизнь»).

Обычно инженеры-водопроводчики к контролированию расхода воды водомерами относятся положительно при значительной стоимости водопроводных сооружений и большом расходе воды, требующей очистки<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> См. также Eng. News-Record, December 12, 1918, p. 1074; J. R. Garat, J. A. W. W. A., vol. 8, pp. 127, 130, 192.

<sup>2</sup> G. C. Sopp, J. A. W. W. A., September, 1947, p. 905.

<sup>3</sup> См. также Water Works Eng., November, 1950, p. 1002.

## Некоторые спорные пункты, касающиеся установки водометров

За установку водометров	Против установки водометров
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Потребитель платит за количество воды, которое он использовал</li> <li>2. Уменьшается бесполезная трата воды, что дает денежную экономию</li> <li>3. Малосостоятельные граждане по таксе фактически платят больше, чем требуется</li> <li>4. Уменьшается нагрузка на очистные сооружения, насосы и т. п.</li> <li>5. Легче следить за бесполезной тратой воды; легче обнаружить утечки</li> <li>6. Большинство частных водопроводных сооружений на 100 % оборудовано водометрами*</li> <li>7. Бережливый потребитель выигрывает; небережливый проигрывает</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ограниченное потребление воды может привести к созданию антисанитарных условий и заболеваний</li> <li>2. Водометры требуют расходов на их покупку, установку, содержание и снятие показаний, что частично аннулирует получаемую при их установке выгоду</li> <li>3. Ввиду значительных потерь напора в водометрах увеличивается стоимость перекачки</li> <li>4. Малоимущие граждане страдают больше от налогов на воду, чем состоятельные</li> <li>5. Потребитель недоволен взимаемой с него платой, когда водометр из-за неисправности не показывает количества водопотребления</li> <li>6. Сокращается количество зеленых насаждений, что оказывает неблагоприятное влияние на экономику благоустройства поселка</li> <li>7. Средства, затрачиваемые на водометр, могут быть с большим успехом израсходованы на усовершенствование водопроводных сооружений</li> <li>8. Бесполезная трата воды может быть более экономично проконтролирована путем осмотра, чем с помощью водометра</li> </ol>

\* В Неваде считается незаконной для частных компаний продажа воды по показаниям водометров (см. Water Works Eng., February 26, p. 241, 1941)



## Глава II

### ВОДОВОДЫ

**1. Определение<sup>1</sup>.** Водовод [4] предназначен для отвода воды из источника к определенному пункту, обычно к резервуару, откуда производится дальнейшее распределение воды.

Водовод может быть выполнен в виде каналов, лотков [5], трубопроводов, сифонов, тоннелей и др. Он может быть открытым или закрытым, напорным или самотечным. Типичный профиль водовода показан на рис. 6.

Выбор водовода зависит от ряда факторов: топографических условий местности, существующего гидростатического напора, качества воды, условий строительства и экономики.

При проектировании водовода особое внимание следует обращать на предотвращение загрязнения воды в нем. В этом отношении прежде всего следует опасаться инфильтрации или поверхностного стока воды из окружающей местности, а также непосредственного загрязнения воды в открытом водоводе.

**2. Каналы.** Канал может быть открытым или закрытым. В открытом канале гидравлический уклон соответствует уклону поверхности воды. Закрытый подземный канал называется тоннелем. Условия, благоприятствующие прокладке канала: топография местности, позволяющая прокладку самотечного канала; непроницаемый грунт, легко разрабатываемый, но мало поддающийся эрозии и мало способствующий произрастанию растений; малая вероятность попадания загрязнения по трассе канала. Одновременное сочетание всех этих условий не обязательно.

Недостатки открытых каналов: опасность загрязнения воды, большие потери вследствие фильтрации и испарения, затруднения, связанные с устройством поперечного дренажа, образование льда, опасность повреждения канала норами грызунов и высокие эксплуатационные расходы.

Наиболее экономичным является полукруглое сечение канала, так как оно имеет максимальный гидравлический радиус. Каналы трапециoidalного сечения легче строить и легче под-

<sup>1</sup> См. также J. D. Watson, Engineer, vol. 168, 1939, pp. 344, 368.

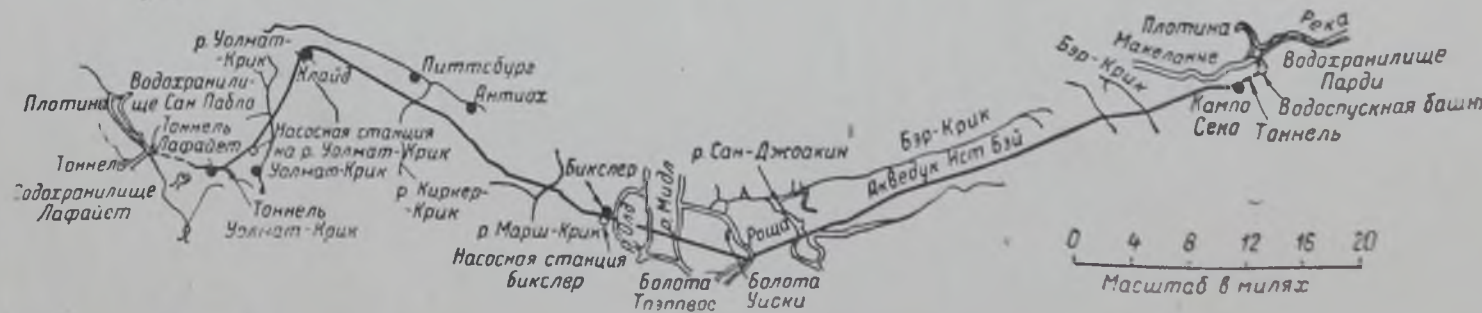
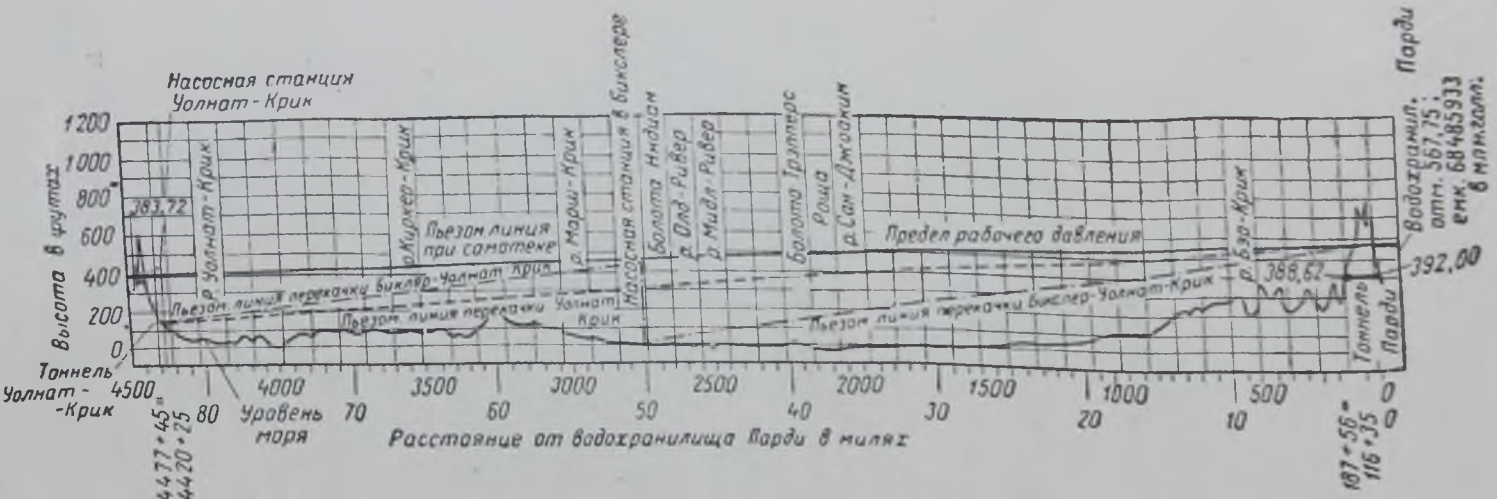


Рис. 6. Водовод Ист Бэй из р. Макеламне, штат Калифорния (из Н. А. Knudsen, J. A. W. W. A., February, 1947, p. 134).

держивать в исправном состоянии. Наилучшим в гидравлическом отношении является такое трапециевидальное сечение, в которое может быть вписан полукруг с центром на водной поверхности. Земляные, не покрытые одеждой откосы принимаются с уклоном от 1 : 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> в песчаных грунтах до 1 : 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> в плотном глинистом грунте. В скальном грунте откосы могут быть вертикальными.

Применение облицовки откосов позволяет допускать более высокие скорости движения воды, благодаря чему уменьшается

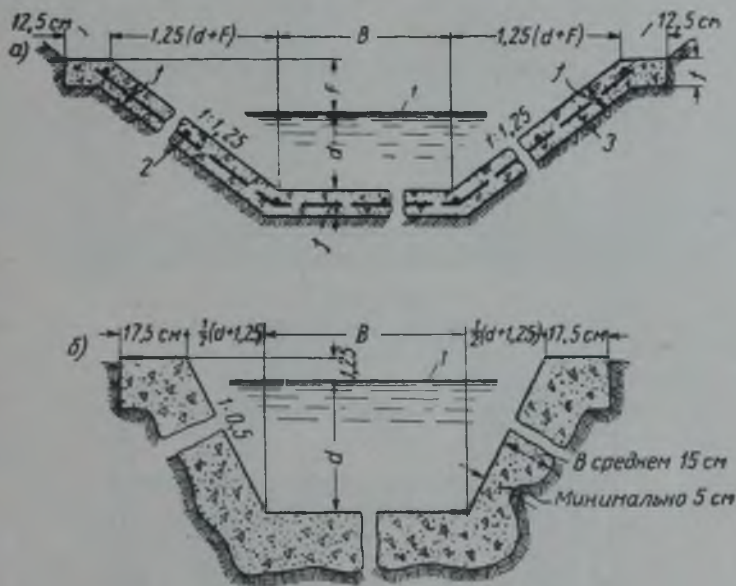


Рис. 7. Разрезы облицованных каналов (по материалам U. S. Bureau of Reclamation)

*а* — с земляными откосами; *б* — со скалистыми откосами; 1 — поверхность воды; 2 — продольная арматура:  $\frac{3}{8}$ " через 30 см,  $\frac{1}{2}$ " через 30 см при толщине плиты  $\delta = 75$  мм и  $\frac{1}{2}$ " через 30 см при  $\delta = 100$  мм; 3 — поперечная арматура:  $\frac{3}{8}$ " через 60 см при толщине плиты  $\delta = 75$  мм и  $\frac{1}{2}$ " через 60 см при  $\delta = 100$  мм

площадь поперечного сечения. Кроме того, в облицованном канале уменьшаются потери от трения, сокращаются потери воды вследствие фильтрации и уменьшаются эксплуатационные расходы. В основном облицовка откосов канала производится аналогично облицовке откосов водоемов (см. гл. VI, п. 4), за исключением того, что в каналах конструктивные швы обычно не применяются.

На рис. 7 показаны типы облицовки земляных и скалистых откосов каналов, а также способ изображения поперечных разрезов на чертежах, прилагаемых к контракту.

Расположение отдельных разрезов может быть показано на профиле, размеры же приводятся в соответствующих таблицах.

Лотки обычно устраиваются с железобетонными, стальными или деревянными стенками<sup>1</sup>. Разрезы двух бетонных лотков показаны на рис. 8. Металлические лотки могут быть выполнены из металлических плит, опирающихся на продольные балки для уменьшения боковых усилий, на сваи или на поперечные прогоны. Лотки применяются очень редко.

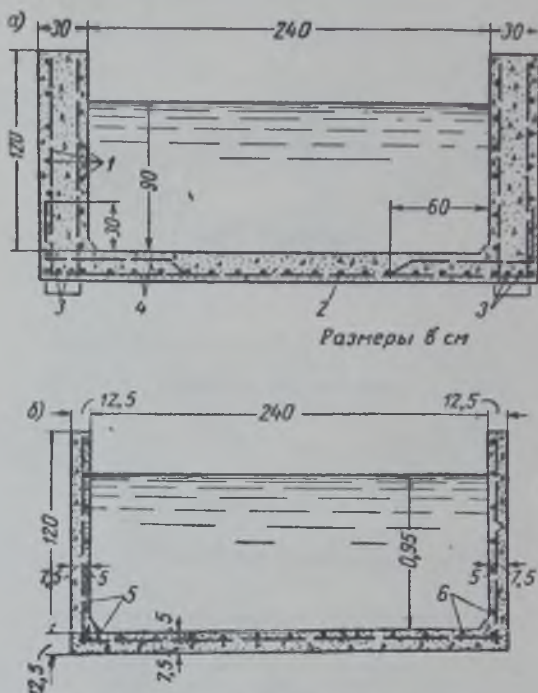


Рис. 8. Железобетонные лотки прямоугольного сечения

*a* — «висячий» лоток; *b* — лоток в полувыемке на косогоре;  
 1 —  $\frac{1}{2}$ " двойная арматура через 20 см в обоих направлениях;  
 2 —  $\frac{1}{2}$ " продольная арматура квадратного сечения (15 прутьев);  
 3 — 1" арматура квадратного сечения (4 прута); 4 —  $\frac{1}{2}$ " поперечная арматура через 17,5 см на 30 см выше низа плиты;  
 5 —  $\frac{1}{2}$ " поперечная арматура через 17,5 см; 6 —  $\frac{1}{2}$ " продольная арматура через 20 см

**3. Трубопроводы.** Если вследствие неблагоприятных топографических условий устройство канала оказывается невозможным, применяются напорные трубопроводы. Трубопровод, как правило, имеет меньшее протяжение и поэтому устройство его обходится дешевле. Если концы трубопровода, проходящего на поверхности грунта или под ней, находятся на линии гидравлического

<sup>1</sup> См. также Eng. News-Record, October 3, 1946, p. 86.



уклона или вблизи нее, то трубопровод называется сифоном, хотя давления в таких трубопроводах обычно превышают атмосферное. Настоящим сифоном является та часть трубопровода, которая находится выше линии гидравлического уклона. Устройства на-

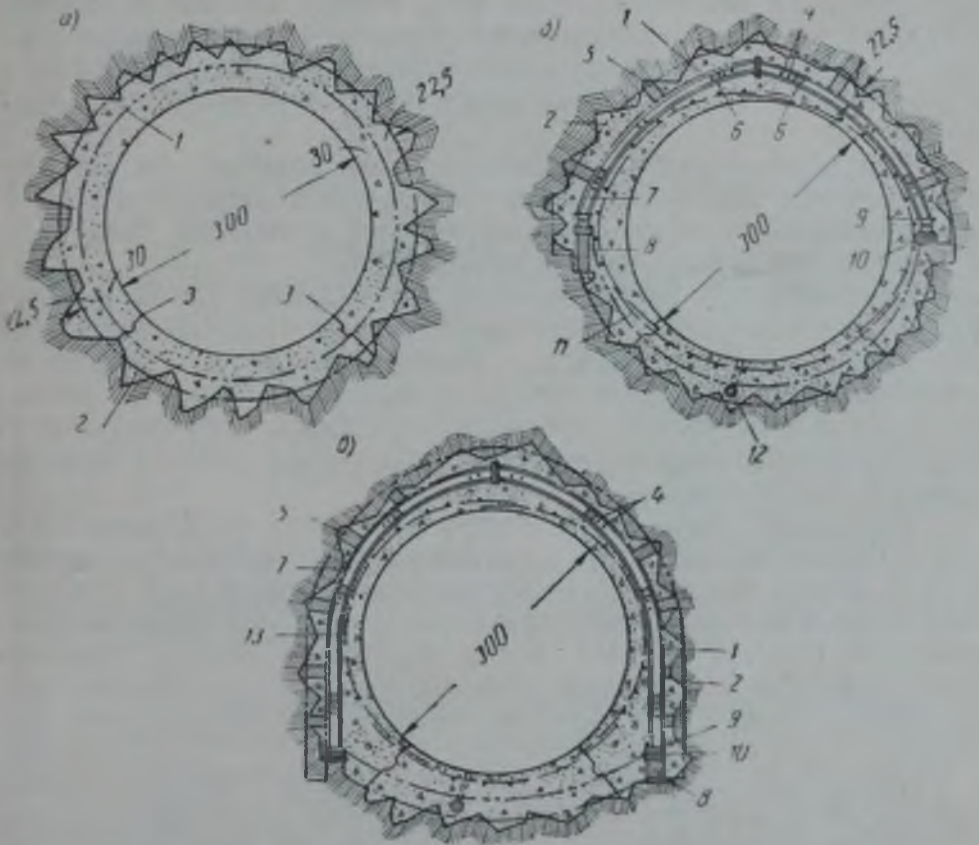


Рис. 9. Разрезы тоннеля-водовода (из А. А. Burger, Eng. News-Record, August 5, 1948, p. 797)

*а* — типовой тоннель; *б* — тоннель со сводом, опирающимся на уступы в породе; *в* — тоннель со сводом, опирающимся на стойки; 1 — границная линия выступающей породы; 2 — границная линия вынудой породы и бетонной заделки; 3 — продольный конструктивный шов; 4 — отверстия для затяжки; 5 — обшивка (если требуется); 6 — временные распорки 10×10 см; 7 — стальные ребра; 8 — опоры; 9 — опорная плита; 10 — деревянные подкладки; 11 —  $\frac{3}{4}$ " арматура через 30 см; 12 — стальная дренажная труба диаметром 100 мм; 13 —  $\frac{3}{4}$ " арматура через 30 см (если требуется — в обоих направлениях)

стоящих сифонов следует избегать из-за осложнений, могущих возникнуть при просачивании в них воздуха и скоплении в верхней части сифона газов, выделяющихся из воды, вследствие чего уменьшается пропускная способность сифона.

На трубопроводах большого протяжения могут применяться повысительные насосы для увеличения давления<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. D. M. Radeliffe, Eng. News-Record, May, 2, 1946, p. 107, а также Eng. News-Record, May, 29, 1947, p. 63.

Для устройства напорных водоводов применяют трубы железобетонные, чугунные, стальные, деревянные и асбестоцементные.

Типовые поперечные сечения бетонных труб и тоннелей показаны на рис. 9, 26 и 27. Однако водоводы большого диаметра как закрытые, так и открытые могут иметь и другую форму. Показанные на рисунках формы сечения лучше выдерживают тяжелые внешние нагрузки и небольшие внутренние напряжения. Строительство таких водоводов не представляет особой сложности.

Для обеспечения надежности работы, возможности осмотра и облегчения эксплуатации трубопроводы должны быть снабжены запорными задвижками, обратными клапанами, выпусками с задвижками и воздушными клапанами<sup>1</sup>.

На некоторых трубопроводах необходимы уравнивательные башни или какие-либо другие приспособления для предотвращения гидравлического удара. Расстояние между запорными задвижками принимается 300—450 м, причем выпуски располагаются в пониженной части между задвижками, чтобы можно было выпустить воду из участка трубопровода (между задвижками) в случае осмотра или ремонта.

Обратный клапан должен быть установлен на напорной линии в начале подъема для предупреждения обратного движения воды в случае аварии. Запорная задвижка может быть установлена поблизости от обратного клапана, чтобы обеспечить возможность осмотра и ремонта его. Обратный клапан должен быть сконструирован таким образом, чтобы он закрывался достаточно медленно во избежание образования гидравлического удара.

На трубопроводах большого протяжения и в особенности уложенных на поверхности стальных трубопроводах, подверженных воздействию резких изменений температуры, должны быть предусмотрены компенсаторы. На рис. 10 показан тип компенсатора, рекомендуемого Бюро рекомендаций. Если на трубопроводах большого протяжения применяется большое число компенсаторов, между ними необходимо предусмотреть анкерную опору. Если трубопровод уложен на опорах, то расстояние между опорами принимается 6—12 м; опоры должны быть устроены таким образом, чтобы на них опиралась  $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{4}$  (или более) окружности трубы. Опоры должны быть рассчитаны на сопротивление опрокидывающим усилиям, возникающим в результате трения при продольных перемещениях труб. Как правило, при проектировании должен быть принят коэффициент трения между трубой и опорой, равный не менее 0,5.

#### 4. Диаметр напорного трубопровода<sup>2</sup>. Диаметр напорного

<sup>1</sup> См. также L. E. Goit, J. A. W. W. A., January, 1949, p. 47.

<sup>2</sup> См. также B. R. Sachet and A. P. Colburn, Ind. Eng. Chem., September, 1940, p. 1240.

трубопровода должен быть таким, чтобы была обеспечена наиболее низкая эксплуатационная стоимость, включая стоимость перекачки и амортизацию.

Экономичный диаметр трубопровода может быть определен способом, описание которого приводится ниже<sup>1</sup>. Необходимо отметить, что этот способ применим к решению многих задач, относящихся к определению экономичных размеров или условий, обеспечивающих наименьшую стоимость предприятия. Способ этот заключается в следующем.

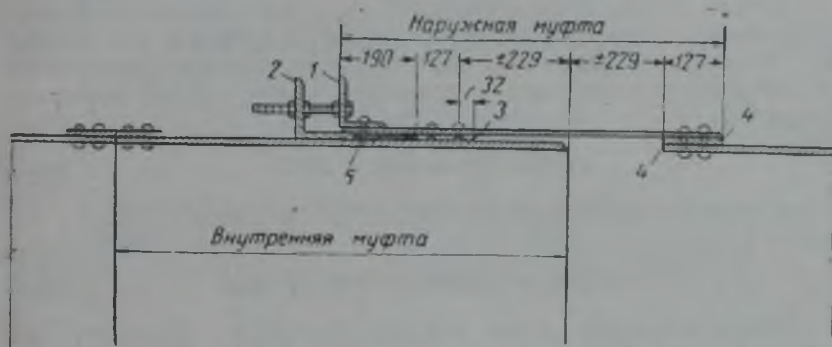


Рис. 10. Компенсатор на стальной трубе

1 — уголок 125×100×12,5 мм; 2 — уголок 150×140×19 мм; 3 — стержень 127×18 мм; 4 — зачеканка; 5 — восемь графитированных льняных кольцевых прокладок сечением 380 мм<sup>2</sup> (для каждого компенсатора доставляется одна дополнительная прокладка)

1. Составляют выражение капитализированной стоимости или общей годовой стоимости трубопровода, используя наиболее подходящие предположительные значения.

2. Дифференцируют полученное выражение относительно искомой изменяемой величины, приравнивают нулю производную и решают уравнение. Результат дает экономическое значение изменяемой величины.

Этот метод должен применяться при определении экономичного диаметра чугунного трубопровода большого протяжения.

Примем следующие обозначения [6]:

$a$  — стоимость металла в центах за фунт;

$$B = 0,00159 L + 0,0006 Y + (0,055 + 0,0145 D) W ;$$

$C$  — коэффициент в формуле Хазена и Вильямса, принимаемый в данном случае равным 100;

$D$  — глубина траншей в футах;

$d$  — диаметр трубы в дюймах;

$p$  — стоимость в центах перекачки 1 млн. галл. на высоту 1 фута;

<sup>1</sup> См. также W. E. Howland, J. A. W. W. A., July, 1947, p. 630.

$Q$  — расход воды по трубопроводу в  $\text{фут}^3/\text{сек}$ ;

$r$  — годовая норма процента на капитал плюс норма отчислений в амортизационный капитал, плюс размеры годовых расходов;

$s$  — гидравлический уклон;

$V$  — скорость движения воды в трубопроводе в  $\text{фут}/\text{сек}$ ;

$W$  — норма обычной заработной платы рабочего в центах за час;

$Y$  — стоимость просмоленной пеньки в центах за 1 фунт.

Теперь необходимо определить годовую стоимость, приходящуюся на 1 фут длины чугунного трубопровода. Как указывает Моури<sup>1</sup>, эта стоимость, включая себестоимость и стоимость возобновления и укладки в траншею, может быть выражена формулой

$$\text{стоимость} = Bdr + 2ard^{1,5}. \quad (\text{II.1})$$

Стоимость перекачки по трубопроводу может быть выражена:

$$\text{стоимость перекачки} = 236 pQs. \quad (\text{II.2})$$

Таким образом, общая годовая стоимость (включая все расходы) на 1 фут трубы составляет

$$\text{общая стоимость} = Bdr + 2ard^{1,5} + 236 pQs. \quad (\text{II.3})$$

Для выполнения второй стадии вычислений необходимо выразить две изменяемые величины— $d$  и  $s$ .

Это может быть сделано путем изменения формулы Хазена и Вильямса следующим образом

$$s = 165 \frac{Q^{1,85}}{d^{4,86}}. \quad (\text{II.4})$$

Подставив в уравнение (II. 3) значение  $s$  из формулы (II. 4), получаем

$$\text{Общая стоимость} = Bdr + 2ard^{1,5} + 39\,000 p \frac{Q^{2,85}}{d^{4,86}}. \quad (\text{II.5})$$

Дифференцируем это выражение при одном переменном  $d$  и первую производную приравняем нулю

$$Brd^{5,86} + 3ard^{6,36} = 189\,000 p Q^{2,85}, \quad (\text{II.6})$$

откуда  $d$  может быть приблизительно выражено формулой

$$d = 7,25 \left[ \frac{p}{r(B+3a)} \right]^{0,167} \cdot Q^{0,476}. \quad (\text{II.7})$$

<sup>1</sup> D. H. Manry, Eng. News-Record, v. 88, 1922, p. 779.

Экономическая скорость в трубе может быть определена из уравнений (II. 7) и  $Q=AV$

$$V = 3,5 Q^{0,05} \left[ \frac{r(B+3a)}{p} \right]^{0,33}, \quad (II.8)$$

$$V = 3a^{0,1} \left[ \frac{r(B+3a)}{p} \right]^{0,35}. \quad (II.9)$$

Экономичные скорости потока<sup>1</sup> приведены в табл. 15. Они вычислены по приблизительной формуле, основанной на формуле Фламана, имеющий вид

$$V = 3,1 a^{0,11} \left[ \frac{r(B+3a)}{p} \right]^{0,4}. \quad (II.10)$$

**5. Диаметр самотечного трубопровода.** Самым экономичным диаметром одиночного самотечного трубопровода является такой диаметр, при котором располагаемый напор используется на трение.

Таблица 15

Экономические скорости (в фут/сек) для различных диаметров и расходов в чугунных трубах

Диаметр в дюймах	Выражения величин см. на стр. 36-37; $k = \frac{r(B+3a)}{p}$			Количество секунд-футов [7]	Выражения величин см. на стр. 36-37; $k = \frac{r(B+3a)}{p}$		
	$L=10$ $Y=15$ $a=4$ $r=0,07$ $p=4$ $W=100$ $D=6$ $B=14,2$ $k=0,441$	$L=5$ $Y=10$ $a=3$ $r=0,06$ $p=6$ $W=50$ $D=4$ $B=5,66$ $k=0,1466$	$L=3$ $Y=4$ $a=1,5$ $r=0,04$ $p=15$ $W=30$ $D=2$ $B=2,33$ $k=0,0182$		$L=10$ $Y=15$ $a=4$ $r=0,07$ $p=4$ $W=100$ $D=6$ $B=14,2$ $k=0,441$	$L=5$ $Y=10$ $a=3$ $r=0,06$ $p=6$ $W=50$ $D=4$ $B=5,66$ $k=0,1466$	$L=3$ $Y=4$ $a=1,5$ $r=0,04$ $p=15$ $W=30$ $D=2$ $B=2,33$ $k=0,018$
4	2,97	1,99	0,93	0,1	2,75	1,90	0,95
6	3,18	2,12	1,00	0,5	3,14	2,16	1,08
8	3,36	2,25	1,05	1,0	3,31	2,29	1,14
10	3,50	2,34	1,10	5	3,78	2,61	1,30
12	3,61	2,42	1,13	10	4,00	2,77	1,38
16	3,82	2,56	1,20	25	4,33	3,00	1,49
18	3,91	2,62	1,23	50	4,57	3,16	1,57
24	4,12	2,76	1,29	100	4,86	3,37	1,68
36	4,42	2,96	1,39				

<sup>1</sup> См. также Т. Р. Сашер, Trans. Am. Soc. Civil Engrs, v. 104, 1939, p. 190.



**6. Тоннели.** При прохождении водоводов через горы, под руслами рек и в таких местах, где по тем или иным причинам нельзя применить поверхностную прокладку трубопровода или прокладку его в открытой траншее, устраивают тоннели. Если одинаково возможно осуществить как тоннельную, так и поверхностную прокладку водовода, то, несмотря на более высокую себестоимость тоннеля, его капитализированная стоимость может быть такой, что прокладка в тоннеле окажется в конечном счете более выгодной. Выбор того или иного способа прокладки водовода определяется имеющимися в наличии фондами или соображениями в отношении надежности и бесперебойности действия водовода.

В самотечном тоннеле гидравлический уклон совпадает с поверхностью воды, проходящей по тоннелю. В напорных тоннелях линия гидравлического уклона находится выше тоннеля. Некоторые сечения тоннелей показаны на рис. 9.

Необходимость облицовки тоннеля зависит от характера грунта, в котором он проложен, величины напора, наличия грунтовых вод и других факторов. В земляном грунте и в трещиноватом скальном грунте облицовка тоннеля всегда необходима.

В тех местах, где вес земляного или скального покрытия недостаточен для того, чтобы противодействовать внутреннему давлению, в напорных тоннелях необходимо предусмотреть железобетонную или металлическую облицовку. Гидравлические свойства тоннеля намного улучшаются облицовкой.

Попадание грунтовой воды в тоннель или утечка воды из него могут быть предотвращены применением водонепроницаемой облицовки из кирпичной кладки, бетона, стали, чугуна или металла, облицованного бетоном, или путем заливки под давлением жидким раствором с внутренней стороны облицовки.

**7. Поперечные сечения водоводов.** Площадь поперечного сечения водовода определяется располагаемым напором, предельными скоростями и другими факторами. Если имеется достаточный напор, площадь поперечного сечения определяется максимально допустимой скоростью. В табл. 16 приводятся максимальные скорости, допустимые при различных типах одежды и различных конструкциях водоводов. Минимальная скорость должна быть такой, чтобы не было отложений в канале.

Конструкция канала должна быть рассчитана на восприятие внешних нагрузок; площадь поперечного сечения должна обеспечивать наименьшую стоимость конструкции и наиболее экономичное использование имеющегося напора. Например, если имеется определенный располагаемый напор между верхним и нижним концами водовода, часть которого должна пройти в виде тоннеля в твердом скальном грунте, а другая часть должна быть построена в виде канала, то может оказаться более экономичным, чтобы большая часть располагаемого напора была использована в тоннеле, вместо того, чтобы весь располагаемый

## Максимальные скорости в водоводах

Тип конструкций	Максимальная скорость в м/сек
При открытом способе проходимости:	
облицованный бетоном . . . . .	4,5
облицованный кирпичом . . . . .	5,4
Трубы:	
стальные и чугунные . . . . .	3,6—6,0
бетонные . . . . .	3,0—4,5
деревянные . . . . .	4,5
Тоннели:	
необлицованные . . . . .	3,6
облицованные бетоном . . . . .	3,0—4,5
облицованные сталью . . . . .	3,6—6,0
лотки всех типов . . . . .	Меньше критической скорости
Каналы:	
земляные	
обыкновенные . . . . .	0,75—2,1
в песчаных грунтах . . . . .	0,3—0,6
в твердом гравии или твердой глине . . . . .	1,5—1,8
в скальном грунте . . . . .	2,4—4,5
облицованные бетоном . . . . .	3,0—4,5

напор был израсходован в обеих частях водовода, пропорционально их длине. Это позволит принять возможно меньший внутренний диаметр тоннеля. Наиболее экономичное распределение потерь напора в водоводе, проходящем в различных грунтах, при установленной общей потере напора может быть определено следующим способом:

1. Составляют серию кривых, абсциссы которых представляют собой общую стоимость (по всей длине) каждой секции водовода данного поперечного сечения, ординаты — потери напора в этой части водовода. Типовая серия таких кривых показана на рис. 11.

2. Методом повторных попыток наносят

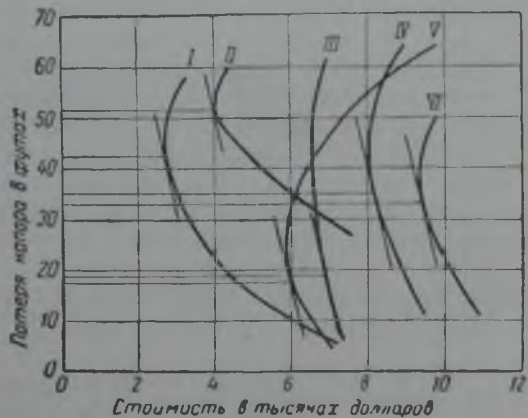


Рис. 11. Способ определения минимальной стоимости водовода посредством параллельных касательных линий

серию параллельных линий касательных к кривым таким образом, чтобы сумма ординат всех точек касания была равна общему располагаемому напору. Тогда сумма абсцисс всех точек касания представляет собой минимальную общую стоимость водовода. Водовод может быть построен с минимальными затратами, если принимать потери напора и размеры каждого участка, как указано в данном разделе.

В примере, показанном на рис. 11, минимальная стоимость всех шести секций при общей потере напора 200 футов составляет 37 000 долл. Потери напора для каждой секции водовода могут быть получены из графика.



## Глава III

### ТРУБЫ ИЗ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**1. Материалы и технические условия.** Для изготовления труб распределительных систем чаще всего применяются: чугун, сталь, цемент и асбестоцемент.

Пластмассы применяются для изготовления труб диаметром не более 6" (150 мм).

Для заделки стыков применяются сера, песок, резина, свинец и его заменители, а также просмоленная пенька.

Такие металлы, как никель, алюминий и хром, а также глина и асбест, используются иногда в виде сплавов или смесей главным образом для предохранения металлов от коррозии.

Для изготовления труб большого диаметра и труб небольшого диаметра при временном использовании в отдельных случаях применяется дерево.

Технические условия на материалы и оборудование периодически разрабатываются такими организациями, как Американская водопроводная ассоциация, Американское общество по испытанию материалов, Американская ассоциация по стандартизации, Американское общество инженеров-механиков, Отдел рационализации при Министерстве торговли США и Отдел снабжения при Министерстве финансов США.

**2. Чугун.** Чугун используется в практике водоснабжения главным образом для изготовления труб. Этот материал отличается высокой противокоррозийной устойчивостью и другими ценными свойствами. С течением времени применение чугуна в производстве труб утвердилось окончательно, причем некоторые старые чугунные трубы находятся в эксплуатации по настоящее время [например, в Версале (Франция) трубы, уложенные еще в 1664 г.].

Технические условия на качество чугуна, применяемого для изготовления труб, зависят от способа изготовления, как указано в главе III, п. 3.

Американское общество испытания материалов (ASTM) разработало Технические условия A 126-42 для задвижек и фасонных частей. Состав, обеспечивающий повышение противокоррозийной устойчивости, следующий:

Общее количество в %		
Углерод . . . . .	3,00 ± 0,15	Хром и молибден . . . . . 0,35 ± 0,05
Силиций . . . . .	2,00 ± 0,25	Фосфор, максимум . . . . . 0,3
Магний . . . . .	0,75 ± 0,15	Сера, максимум . . . . . 0,12
Никель . . . . .	1,05 ± 0,15	Прочность на растяже- ние в кг/см <sup>2</sup> . . . . . 2 800

Ковкий чугун<sup>1</sup>, введенный в водопроводную промышленность примерно в 1949 г., пригоден для изготовления труб, благодаря его большой прочности на разрыв, а также известной пластичности (ковкости). Опыт применения этого чугуна пока ограничен.

**3. Изготовление чугунных труб.** Существует четыре способа изготовления чугунных труб, но только три из них получили большое распространение. Эти четыре способа следующие:

- 1) горизонтальная отливка труб (трубы McWane);
- 2) вертикальная отливка или отливка в песчаных формах<sup>2</sup>;
- 3) центробежная отливка в песчаных формах<sup>3</sup>;
- 4) центробежная отливка в металлических формах<sup>4</sup>.

Вертикально отлитые трубы имеют большой вес и стоят дороже, чем трубы, отлитые центробежным способом. Трубы горизонтальной отливки применяются редко; чаще всего применяются центробежные трубы<sup>5</sup>. Стандартные фасонные части продолжают отливать в песчаных формах, в соответствии с техническими условиями, принятыми Американской водопроводной ассоциацией в 1908 г.

При обоих способах центробежной отливки форма быстро вращается на горизонтальной оси, в то время как в нее заливается расплавленный металл. Регулирование скоростей заливки и вращения позволяет получить трубы с плотными, гладкими стенками равномерной толщины.

После заливки необходимого количества металла форма продолжает вращаться до тех пор, пока температура расплавленного металла не упадет до 815°C. Затем трубу извлекают из формы и помещают в печь для термической обработки; там она постепенно охлаждается до температуры 650°C. Формы продолжают постепенно охлаждать для обеспечения дальнейшего отпуса. После охлаждения формы опорожняются, а трубы очищаются, подвергаются испытаниям и облицовываются.

**4. Толщина стенок чугунных труб<sup>6</sup>.** Различаются 14 классов литых чугунных труб в зависимости от толщины стенок. Толщи-

<sup>1</sup> См. также С. Т. Haller, J. A. W. W. A., October, 1952, p. 912.

<sup>2</sup> См. American Water Works Association Standard Specifications, adopted May 12, 1908.

<sup>3</sup> Standard Specifications, см. J. A. W. W. A., February, 1953, p. 209.

<sup>4</sup> Standard Specifications, см. J. A. W. W. A., February, 1953, p. 189.

<sup>5</sup> По другим стандартным Техническим условиям на чугунные трубы см. ASA A 212-1939 J. A. W. W. A., December, 1939 и Federal Specifications WW-P-421, исправленные в апреле 1940 г., которые можно получить от зав. отделом документации, Вашингтон.

<sup>6</sup> Standard Specifications, см. ASA A 21,1, в J. A. W. W. A., December, 1939



на стенок чугунных труб определяется, как правило, по методу, указанному в Руководстве для определения прочности и толщины стенок чугунных труб<sup>1</sup>.

В табл. 17 приведены стандартные толщины для некоторых из 14 классов труб, отлитых вертикальным способом.

Таблица 17

Стандартные толщины стенок чугунных труб в дюймах\*

Диаметр труб в дюймах	Стандартные классы толщины							
	1	2	4	6	8	10	12	14
4	0,40	0,43	0,50	0,58	0,68	0,79	0,92	1,07
8	0,46	0,50	0,58	0,68	0,79	0,92	1,07	1,25
12	0,54	0,58	0,68	0,79	0,92	1,07	1,25	1,46
18	0,63	0,68	0,79	0,92	1,07	1,25	1,46	1,71
24	0,74	0,80	0,93	1,08	1,26	1,47	1,72	2,01
36	0,97	1,05	1,22	1,43	1,66	1,93	2,25	2,62
48	1,18	1,27	1,48	1,73	2,02	2,35	2,79	3,20
60	1,39	1,50	1,75	2,04	2,38	2,78	3,24	3,78

\* Руководство для вычисления толщины, J. A. W. W. A., December 1939, p. 3

Труба, отлитая центробежным способом, при такой же толщине стенок прочнее трубы, отлитой вертикальным способом, так как предел прочности на разрыв в этом случае равен 2 800 кг/см<sup>2</sup>. Ряд стандартных толщин стенок труб, отлитых вертикальным и центробежным способами, приведен в табл. 18.

**5. Длина чугунных труб.** Трубы, отливаемые вертикальным способом, изготавливаются длиной 12 футов (3,6 м); 16 футов (4,8 м) и 5 м.

Трубы, изготавливаемые центробежным способом в соответствии с Федеральными техническими условиями WWP-421 имеют стандартные длины 12; 16; 16<sup>1</sup>/<sub>2</sub>; 18 и 20 футов (3,6; 4,8; 5,1; 5,4 и 6 м). Преимущества более длинных труб заключаются в гораздо меньшем числе стыков, подлежащих выполнению при монтаже и в соответственно меньшей возможности появления утечек. Однако более короткие трубы легче и удобнее в обращении.

Нарезка чугунных труб<sup>2</sup> на патрубки желательной длины на месте затруднительна, занимает много времени и не гарантирует целостности труб. Существуют специальные инструменты для отрезки труб механического и ручного управления. При пользовании этими инструментами в значительной степени устраняются опасности, которые имеют место при перерубке труб молотком и зубилом<sup>3</sup>. Электродуговая резка труб является наиболее быстрой, безопасной и экономичной<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Standard Specifications, см. ASA A 21, 1, J. A. W. W. A., December, 1939,

<sup>2</sup> См. также Water Works Eng. August, 1949, p. 721.

<sup>3</sup> Там же, August, 1952, p. 753; November, 1952, p. 1051.

<sup>4</sup> См. также Eng. News-Record, September, 1950, p. 38.]

Некоторые стандартные толщины стенок и веса труб, отлитых вертикальным и центробежным способами\*

Номинальный диаметр в дюймах	Трубы, отлитые вертикальным способом								Трубы, отлитые центробежным способом в металлических изложницах							
	Толщина стенок				Вес трубы длиной 12 футов (3,6 м) с раструбом				Толщина стенок				Вес трубы длиной 12 футов (3,6 м) с раструбом			
	для давления 50 фунт/дюйм <sup>2</sup> (3,5 ат)		для давления 350 фунт/дюйм <sup>2</sup> (25 ат)		для давления 50 фунт/дюйм <sup>2</sup> (3,5 ат)		для давления 350 фунт/дюйм <sup>2</sup> (25 ат)		для давления 50 фунт/дюйм <sup>2</sup> (3,5 ат)		для давления 350 фунт/дюйм <sup>2</sup> (25 ат)		для давления 50 фунт/дюйм <sup>2</sup> (3,5 ат)		для давления 350 фунт/дюйм <sup>2</sup> (26 ат)	
	дюймы	мм	дюймы	мм	фунты	кг	фунты	кг	дюйм	мм	дюйм	мм	фунты	кг	фунты	кг
4	0,40	10,0	0,40	10,0	230	104	230	104	0,35	8,9	0,35	8,9	200	91	200	91
6	0,43	10,9	0,50	12,7	360	163	410	186	0,38	9,7	0,38	9,7	315	143	415	188
8	0,46	11,7	0,58	14,7	515	224	645	293	0,41	10,4	0,41	10,4	455	206	455	206
10	0,50	12,7	0,73	18,5	635	288	980	444	0,44	11,2	0,52	13,2	605	274	900	408
12	0,54	13,7	0,79	20,0	880	399	1 260	571	0,48	12,2	0,56	14,2	785	356	900	408
14	0,54	13,7	0,92	23,4	1 025	465	1 780	807	0,48	12,2	0,64	16,2	915	415	1 210	549
16	0,58	14,7	0,99	25,1	1 265	574	2 180	989	0,54	13,7	0,68	17,3	1 165	528	1 465	664
18	0,63	16,0	1,07	27,2	1 535	696	2 560	1 161	0,54	13,7	0,79	20,0	1 320	599	1 920	871
20	0,66	16,8	1,22	31,0	1 785	809	3 325	1 508	0,57	14,5	0,84	21,3	1 545	701	2 265	1 027
24	0,74	18,8	1,36	34,5	2 385	1 082	4 440	2 014	0,63	16,0	0,92	23,4	2 045	927	2 975	1 349
30	0,87	22,1	1,62	41,1	3 460	1 569	6 695	3 036	—	—	—	—	—	—	—	—
36	0,97	24,6	1,93	49,0	4 610	2 091	9 530	4 322	—	—	—	—	—	—	—	—
42	1,07	27,2	—	—	5 970	2 707	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48	1,18	30,0	—	—	7 510	3 406	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
54	1,30	33,0	—	—	9 325	4 229	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	1,39	35,3	—	—	11 070	5 020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Имеются Технические условия ASA для труб, отлитых вертикальным способом А 21.6-1953, и для труб, отлитых центробежным способом А 21.6-1952.

6. Фасонные части для чугунных труб<sup>1</sup>. Некоторые раструбные напорные фасонные части для чугунных водопроводных труб, стандартизованные техническими условиями AWWA C100-52Т и Водопроводной ассоциацией Нью-Ингленд показаны на рис. 12.

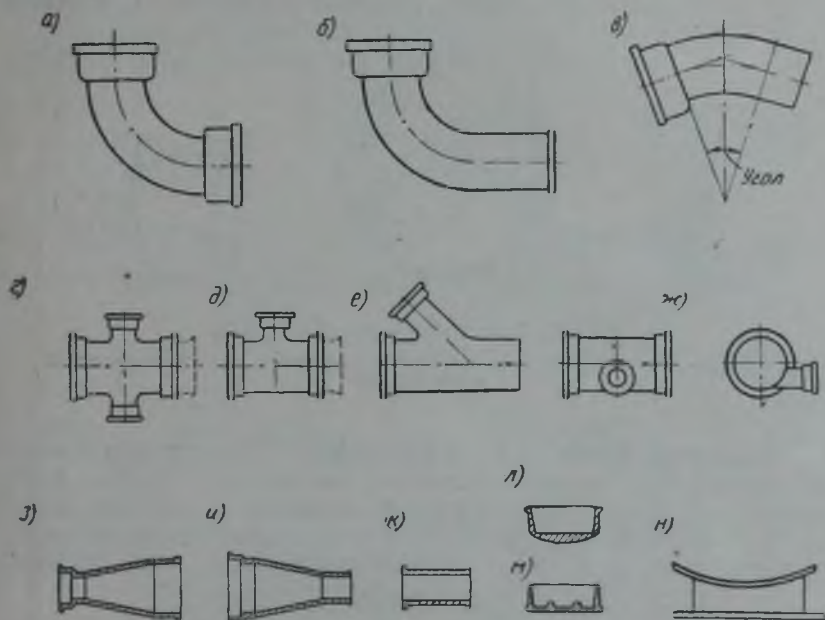


Рис. 12. Стандартные чугунные раструбные фасонные части

а — колено двухраструбное ( $1/4$  колена); б — колено с одним раструбом ( $1/4$ ); в — отводы  $45^\circ$ ,  $22\frac{1}{2}^\circ$  и  $11\frac{1}{4}^\circ$ ; ( $1/8$ ,  $1/16$  и  $1/32$ ); г — крестовина (с тремя или четырьмя раструбами); д — тройник (с двумя или тремя раструбами); е — косой тройник; ж — выпуск; з — переход с раструбом на узком конце; и — переход с раструбом на широком конце; к — патрубок; л — закругленная пробка; м — обычная пробка; н — фланцевое седло

Крестовины и тройники, а также некоторые другие фасонные части отливаются с двумя раструбными концами или с одним раструбным концом, а другим гладким.

Стандарты на фланцевые чугунные трубы и фасонные части для них были утверждены Американской водопроводной ассоциацией в 1908 г. и Американской ассоциацией стандартов А 21.2-1939, ASA B16.1-1948 и ASA B16b-1944 г.

Фланцевые фасонные части, изготовленные по американским стандартам для паропроводов<sup>2</sup>, вследствие меньшего радиуса

<sup>1</sup> AWWA Standard Specifications 7C, 1, 1908, A21. 10-1952 в J. A. W. W. A., November, 1952, p. 1065. Pressure fittings C 100-52T в J. A. W. W. A., March, 1953, p. 321; также ASA B16. 1-1948, B.16 b-1944 и AWWA C102-39.

<sup>2</sup> Одобрено Американским обществом инженеров-механиков, March, 20, 1914.

кривых позволяют производить работы в более стесненном пространстве.

Эти фасонные части, в случае необходимости, могут быть применены и в водопроводной практике.

**7. Ремонтные хомуты и муфты<sup>1</sup>.** При выполнении ремонтных работ, в случае аварии, для укрепления лопнувшей трубы при-

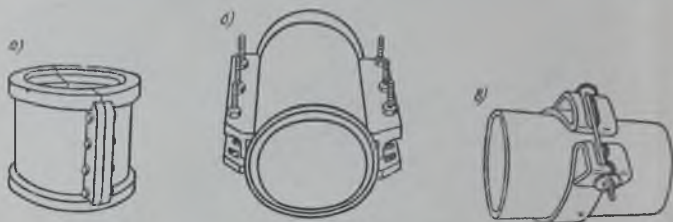


Рис. 13. Ремонтные хомуты и муфты

а — разрезная муфта; б — универсальная двойная ремонтная муфта; в — ремонтная муфта Фильбрук

меняются специальные хомуты или муфты (типы которых показаны на рис. 13), иногда снабженные сальниками. Муфты, показанные на рис. 14, также могут использоваться для этой цели<sup>2</sup>.

**8. Стыки чугунных труб<sup>3</sup>.** Стыки для соединения чугунных водопроводных труб могут быть раструбные, механические,

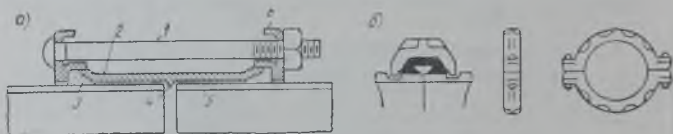


Рис. 14. Муфты для соединения стальных труб

а — соединение Дрессера; б — соединение Виктоулик; 1 — болт; 2 — среднее кольцо; 3 — прокладка; 4 — выступ; 5 — гладкий конец трубы; 6 — нажимное кольцо

фланцевые и винтовые. В отдельных случаях применяются и некоторые другие типы стыков.

Раструбные соединения применяются главным образом для труб, прокладываемых в грунте. Разрезы типовых раструбных стыков показаны на рис. 15. Раструбный стык выполняют следующим образом: гладкий конец одной трубы вставляют в раструбный конец другой трубы до соприкосновения. При заделке

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng., June., 1951, p. 571.

<sup>2</sup> Там же, July, 1951, p. 673.

<sup>3</sup> Water Works Eng. September, 1952, p. 859.



свинцом пространство между раструбом и гладким концом заполняют пенькой на глубину 50—65 мм. Остальное пространство заполняют свинцом или его заменителем. При выполнении раструбных соединений нет необходимости вплотную пригонять трубы. Допускается некоторый зазор, что позволяет уложить трубопровод по кривой большого радиуса.

Стыки имеют тенденцию разъединяться под действием растяжения. Прайор<sup>1</sup> выразил эту тенденцию формулой

$$P = \frac{3800}{D + 6} - 40, \quad (X.1)$$

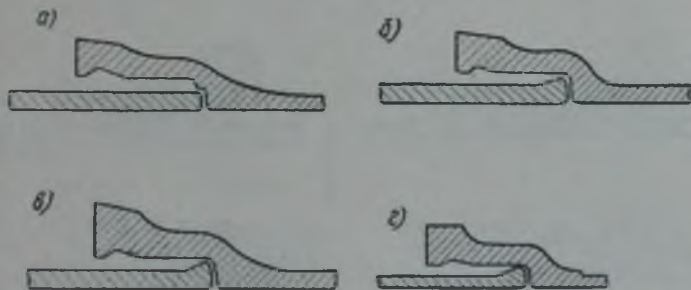


Рис. 15. Раструбные стыки чугунных труб, отлитых центробежным способом, по федеральным техническим условиям WW-P-421, 1931

а — для центробежных труб I типа; б — для центробежных труб II типа; в — для центробежных труб III типа; г — для труб, отлитых вертикальным способом по техническим условиям A. W. W. A., 1908 г.

где  $P$  — давление в трубе при растяжении или разрыве в фунт/кв. дюйм;

$D$  — диаметр трубы в дюймах.

Разъединение труб может быть предотвращено применением соединительных стяжек, заделанных в бетонные «анкеры», применением болтовых соединений и другими способами.

В послевоенное время применяются механические стыки<sup>2</sup> с резиновой прокладкой чаще, чем другие виды стыков.

Типы механических стыков показаны на рис. 16 и 17.

Стык с резиновой прокладкой показан<sup>3</sup> на рис. 18. Считают, что кольцевые прокладки из синтетического каучука работают лучше, чем прокладки из натурального каучука<sup>4</sup>. Муфта с натяжными кольцами (патронная муфта), показанная на

<sup>1</sup> I. C. Prior, Ohio State Univ. Bull. 87, January, 1935.

<sup>2</sup> ASA A21. 11-1953, J. A. W. W. A., April, 1943, p. 431, и Federal Specifications WW-P-423 для болтовых соединений.

<sup>3</sup> См. также Water Works Eng., December, 1949, p. 1105.

<sup>4</sup> См. также W. L. White, J. A. W. W. A., November, 1951, p. 872.

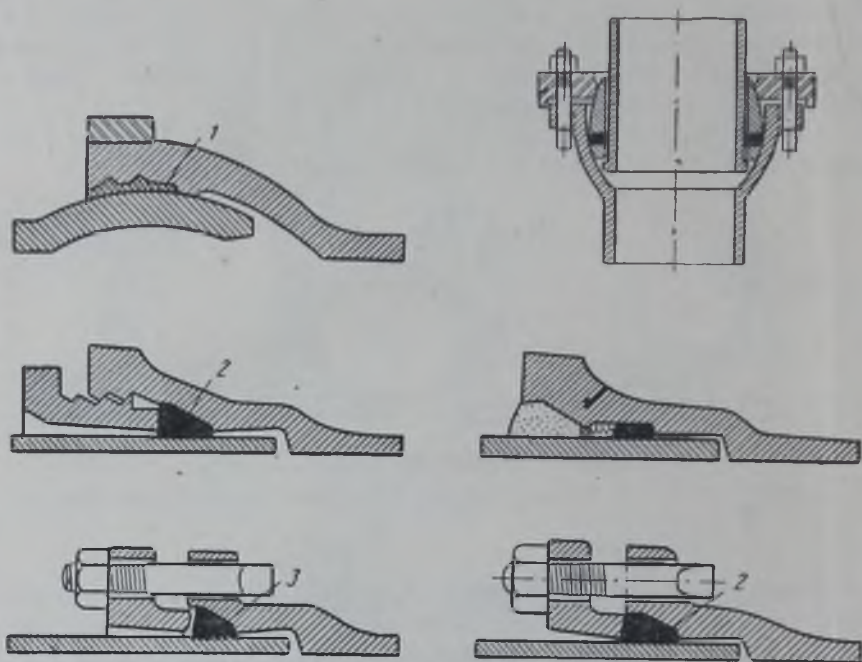


Рис. 16. Стыки различного вида для чугунных труб  
(из Water Works Eng., September, 1952, pp. 859 ff)

1 — свинец; 2 — резиновая прокладка; 3 — резиновая прокладка на парусиновой подкладке

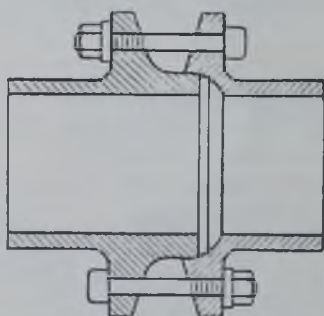


Рис. 17. Универсальный стык

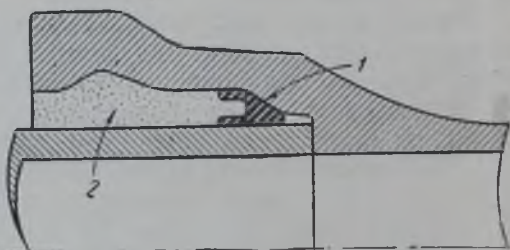


Рис. 18. Стык с резиновой кольцевой прокладкой

1 — резиновое кольцо; 2 — залитый материал для заделки стыка или цементный раствор

рис. 14, иногда называемая муфтой Дрессера, представляет собой механический стык, часто используемый при авариях и для ремонтных работ. Полный стык состоит из муфты, двух кольцевых прокладок и двух колец, соединенных болтами. Муфта надевается на гладкий конец трубы, а резиновые кольцевые прокладки устанавливаются на место при закручивании болтов. Соскальзывание муфты на трубе в результате расширения или сжатия

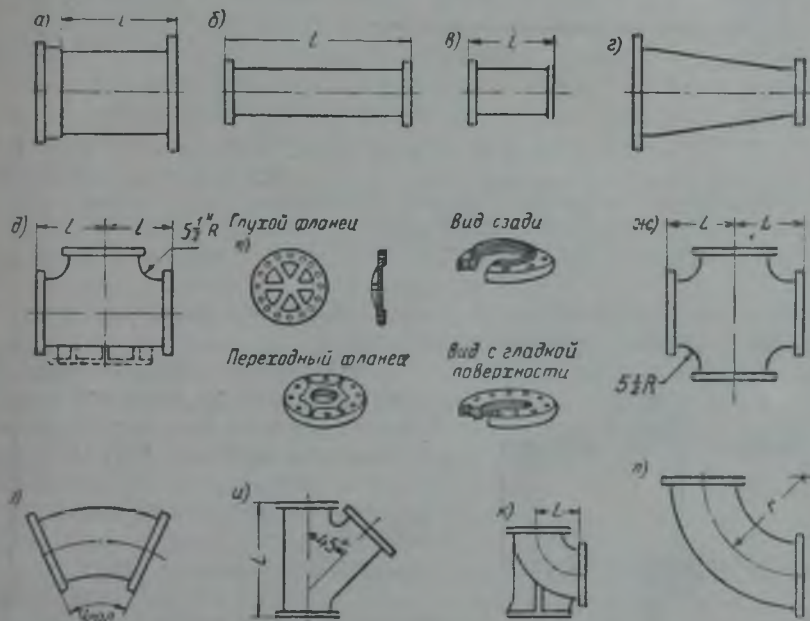


Рис. 19. Стандартные чугунные фланцевые фасонные части

а — патрубок раструб-фланец; б — фланцевая труба стандартной или уменьшенной длины; в — патрубок фланец—гладкий конец (штука); г — переход (длинный или короткий); д — тройник (с опорой или без опоры); е — фланец; ж — крестовина; з — отвод  $45^\circ$  ( $1/8$ ) и  $22\frac{1}{2}^\circ$  ( $1/10$ ); и — У-образное ответвление; к — колено с опорой; л — колено ( $1/4$ ) большого или малого радиуса

может быть предотвращено с помощью внутреннего выступа на муфте, входящего в зазор между концами трубы в месте стыка. В таких стыках резина оказывается сильно сжатой, что совершенно необходимо для увеличения срока службы стыка. Муфта и стыки с резиновыми кольцами отличаются гибкостью, водонепроницаемостью и прочностью, причем выполнение их не требует особого искусства и специальных инструментов.

Фланцевые стыки широко применяются на трубах, проложенных на насосных станциях, в фильтровальных установках и других системах, находящихся в здании.

Некоторые фасонные части с фланцевым соединением показаны на рис. 19.

Винтовые соединения применяются редко на чугунных водопроводных трубах, диаметром не более 12". Они довольно до-

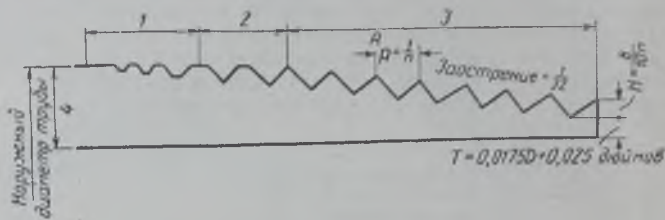


Рис. 20. Стандартная трубная нарезка

1 — резьба в четыре нитки (неполная внизу и сверху); 2 — резьба в две нитки (полная внизу); 3 — полная резьба;  $t$  — толщина стенки трубы;  $n$  — число ниток на 1 дюйм;  $A$  — диаметр резьбы на конце трубы, равный  $D - (0,05 D + 1,1) p$ ; длина резьбы  $\frac{4,8 - 4,8 D}{n}$  дюймов

роги и не имеют никаких существенных преимуществ по сравнению с фланцевыми соединениями.

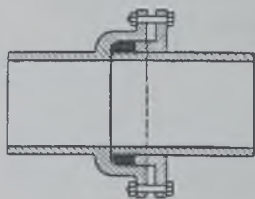


Рис. 21. Компенсационный стык

Стандартная американская нарезка на трубах показана на рис. 20. Эта стандартная нарезка применяется также на паровых трубах из сварочного железа и на чугунных, латунных, медных и других трубах, изготовленных из материала, на котором можно сделать нарезку.

Из других типов соединений чугунных труб можно указать на компенсационный стык, простейший тип которого показан на рис. 21, и на гибкие соединения, показанные

на рис. 22. Компенсационный стык применяется при возможности сильных температурных колебаний. Этот вид соединения обычно

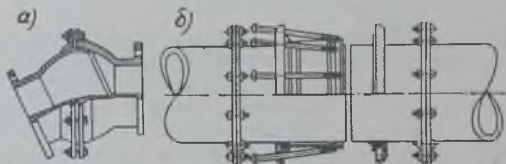


Рис. 22. Гибкие соединения (б — из Е. Т. Killam, J. A. W. W. A., November, 1943, p. 1457)

не применяется для чугунных труб, прокладываемых в грунте и предназначенных для транспортирования холодной воды. Гиб-



кие соединения применяются вместо колена для труб, прокладываемых под водой, при неровном дне траншеи, при соединении труб из различных материалов и вообще во всех случаях, когда требуется гибкое соединение.

Почти все виды соединений, за исключением механических, требуют заполнения свободного пространства, образующегося в стыке, подходящим для этого материалом с целью обеспечения водонепроницаемости. Стык может быть законопачен, зачеканен или залит. Для выполнения законопаченного шва (шва с уплотнительной прокладкой) уплотнительный материал забивают внутрь него и закрепляют специальным кольцом с болтами. Зачеканка стыка заключается в укладке материала, обладающего способностью сжиматься, в зазор между трубами, где он удерживается силой трения.

Залитые стыки выполняются путем заливки расплавленного металла в зазор с последующим его охлаждением и твердением. Соединения, залитые свинцом, постепенно уплотняются благодаря усадке свинца по мере охлаждения.

**9. Материалы, применяемые для устройства стыков.** Желательно, чтобы составы, применяемые для устройства стыков<sup>1</sup>, обладали большой прочностью, долговечностью, пластичностью, удобно обрабатывались и были экономичны.

Для стыков водопроводных труб применяются: свинец<sup>2</sup>, смесь песка с серой, литые битумные соединения, цемент, резина и различные материалы, право производства которых принадлежит какой-либо фирме; для уплотнения заливаемого шва применяются джут, пенька, асбест и другие материалы. «Серые цементы не должны применяться для чугунных труб, если они вызывают коррозию чугуна; они не должны также применяться в том случае, если рН воды или окружающего грунта превышает 9,0»<sup>3</sup>.

Некоторыми законодательствами запрещается применение джута и пеньки<sup>4</sup>.

Свинец, заливаемый в горячем состоянии или укладываемый в холодном виде, является наиболее старым и наиболее распространенным материалом, применяемым для заполнения растрескавшихся соединений. С успехом применяются цементные стыки<sup>5</sup>. Нередко применяется и резина, как обладающая многими положительными свойствами и считающаяся идеальным материалом для уплотнения стыков. Резиновые уплотнительные кольца не благоприятствуют развитию бактерий, как это имеет место при заделке пенькой.

<sup>1</sup> С. R. Пауне, J. Penna, Water Works Operators' Assoc., v. 8 1936, p. 85.

<sup>2</sup> См. также R. B. Seymour and others, J. A. W. W. A., March, 1954, p. 237.

<sup>3</sup> Там же, December, 1951, p. 1101.

<sup>4</sup> Там же, May, 1952, p. 378.

<sup>5</sup> См. также K. F. Hoefle, Eng. News-Record, May 2, 1946, p. 108.

При условии дезинфекции резиновые уплотнительные кольца гораздо меньше подвержены загрязнению, чем ленька или джут. Они обеспечивают водопроницаемость стыка и возможность незначительного удлинения или укорочения труб при колебаниях температуры, гибкость стыка, и легко выполняемы. Однако резиновые уплотнители имеют и недостатки: быстро разрушаются при соприкосновении с газOLIном или каким-либо другим нефтяным продуктом и подвержены действию микробов<sup>1</sup>.

Из других гибких соединений можно отметить также резиновое кольцо, надеваемое на гладкий конец трубы при соединении его с раструбом другой трубы<sup>2</sup>.

Существует еще ряд уплотнительных материалов для стыков, запатентованных отдельными фирмами. Из их числа следует назвать синтерит<sup>3</sup>—заменитель свинца, изобретенный во время войны (синтерит получают путем нагрева железного порошка или окиси железа до образования пористой массы, которую можно применять вместо свинца для зачеканки стыков), а также фибрекс—бумажную набивку, состоящую из крученой бумажной массы и плетеной оболочки.

**10. Заливаемые стыки.** Свинец всегда считался самым подходящим материалом для заливки раструбных стыков, но за последнее время появилось так много пластичных дешевых и вполне удовлетворительных заменителей свинца, что сам свинец отошел на второй план. Серьезным возражением против применения свинца является недостаточная его эластичность и тенденция к расстройству при вибрации. Заменителями свинца являются—ледит, гидротайт, свинцовая шерсть, металиум, тегул и другие<sup>4</sup>. Свинцовая шерсть представляет собой разрыхленный свинец. Она забивается в стык жгутами, диаметром 13 мм и длиной 0,3—0,9 см, в зависимости от диаметра трубы. Зачеканка производится успешнее всего пневматическим приспособлением с использованием специального инструмента типа, показанного на рис. 23. Серые соединения, включающие такие материалы, как ледит, тегул, гидротайт и металиум, состоят в основном из серы, смешанной со стальными опилками, шлаком и солями. Материалы эти легче, чем свинец, и обладают большими преимуществами. Соединение серы и песка, плавящееся при тем-

<sup>1</sup> См. также С. Е. ZoBell and J. D. Beckwith, J. A. W. W. A., April, 1944, p. 439.

<sup>2</sup> См. также R. H. Hyde, Water Works & Sewerage, September, 1940, p. 410.

<sup>3</sup> См. также Hans Vogt, Gesundh.-Ing. vol. 59, p. 631, реферировано в J. A. W. W. A., June, 1939, p. 1071.

<sup>4</sup> См. также R. J. Thomas, Lead Wool, J. A. W. W. A., vol. 5, p. 10, 1918; T. Healey Substitutes for Lead Joints, J. A. W. W. A., v. 7, 1920, p. 234, H. V. Knowles, Metalium, J. A. W. W. A., v. 5, p. 174, 1918, C. R. Payne, Tegul, Water Works & Sewerage, September, 1935, p. 317; R. B. Seymour and D. F. Deakin, Public Works, July, 1939, p. 50.

пературе около  $116^{\circ}$ , становится жидким при температуре  $120^{\circ}$  и воспламеняется при температуре  $138^{\circ}$ .

Серный стык<sup>1</sup> с течением времени становится плотнее, в то время как свинцовый стык при образовании в нем течи постепенно теряет свою прочность. В технических условиях на укладку новых труб предусматривается, чтобы утечка не превышала 100 галл. в день на 1 милю (236 л в сутки на 1 км) трубопровода при номинальном диаметре 1" для труб длиной 12 футов (3,6 м); 75 галл. (177 л в сутки на 1 км) для труб длиной 16 футов (4,8 м) и соответствующих показателей для труб иной длины. Испытание на водонепроницаемость должно производиться под давлением 10,5 ат. «Если испытания, произведенные немедленно после устройства стыка с применением серного уплотнения, показывают относительно большую утечку, то это вовсе не означает, что водонепроницаемость стыков данного трубопровода, установленная испытаниями, является максимальной, так как стык, выполненный с применением серного уплотнения, с течением времени становится плотнее»<sup>2</sup>.

Были случаи, когда чугунные трубы, стыки которых выполнялись с применением серных уплотнений, лопались<sup>3</sup>. Однако эти дефекты не являются повсеместными и являются результатом каких-то специфических условий.

Цемент также успешно применяется для уплотнения раструбных стыков как бетонных, так и металлических труб. Цемент укладывается в стык в виде густого раствора или заливается в жидком состоянии<sup>4</sup>.

**11. Трубы и фитинги из ковкого металла.** Особой разницы в качестве труб, сделанных из ковкой стали и ковкого чугуна, не существует. Это частично объясняется сходством процессов производства и качества материалов, из которых изготовлены трубы. Трубы из ковкого металла изготавливаются путем свертывания листов металла в трубы различного диаметра и затем свариваются. В основном эти трубы применяются в зданиях, где они защищены от коррозии. Ковкий металл применяется для изготовления

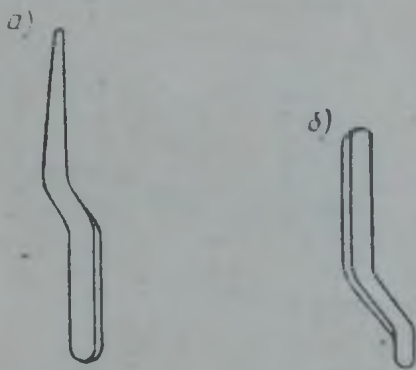


Рис. 23. Инструменты для зачеканки

а — конопатка; б — чеканка

<sup>1</sup> В. В. Seymour и др., J. A. W. W. A., March, 1954, p. 237.

<sup>2</sup> Tentative Standard Specifications for Laying Cast-iron Pipe, C 600-49T, J. A. W. W. A., December, 1949, p. 1079.

<sup>3</sup> Eng. News-Record, March, 15, 1952, p. 62.

<sup>4</sup> См. также J. L. Alexander and B. M. Ebaugh, J. A. W. W. A., April, 1941, p. 769.

труб диаметром от  $\frac{1}{8}$  до 20" (3—500 мм). По сравнению с чугунными трубами трубы из ковкого металла имеют гораздо меньший вес, легче нарезаются, обрезаются и обрабатываются и имеют более привлекательный внешний вид. Однако они менее прочны и обходятся дороже, чем чугунные трубы.

Ковкий чугун — это литой чугун такого качества, которое придает ему пластичность, позволяющую производить гнутье.

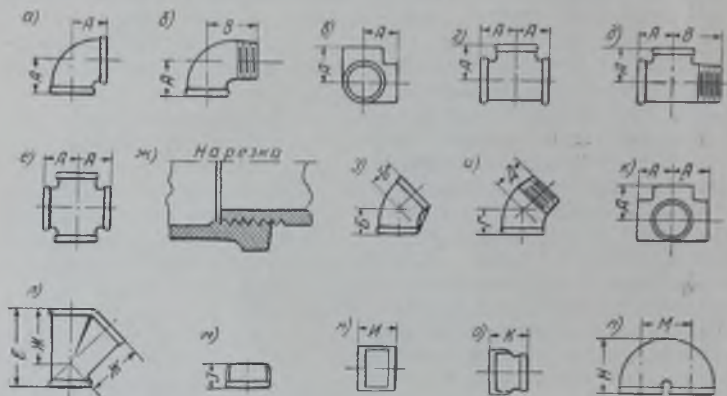


Рис. 24. Эскизы стандартных чугунных фасонных частей

а — колено 90°; б — колено 90° для уличной сети; в — колено с боковым ответвлением; г — тройник; д — тройник для домового ввода; е — крестовина; ж — винтовое соединение; з — отвод 45°; и — отвод 45° для уличной сети; к — тройник с четырьмя ответвлениями; л — У-образный тройник; м — пробка; н — муфта; о — переходная муфта; п — обратное колено

Ковать этот чугун обычным способом нельзя, так как под ударом молота он может разрушаться. Некоторые размеры стандартных фитингов показаны в табл. 19, а эскизы их на рис. 24.

12. Стальные трубы<sup>1</sup>. Технические условия на стальные трубы различного вида периодически выпускаются Американской водопроводной ассоциацией<sup>2</sup>.

Цельнотянутые стальные трубы выпускаются диаметром от  $\frac{1}{8}$  до 24" (3—600 мм). Толщина стенок, вес и рабочее давление труб девяти диаметров приведены в табл. 20.

Сведения о свойствах сварных стальных труб диаметром 24" приведены в Journal of the American Water Works Association, September, 1950, стр. 862. Трубы, изготовленные из прокатной стали, применяются главным образом для прокладки трубо-

<sup>1</sup> См. также R. E. Barnard, J. A. W. W. A., January, 1948, p. 24; W. H. Cates, J. A. W. W. A., September, 1950, p. 860.

<sup>2</sup> J. A. W. W. A., January, 1940, April 1943; January, March and August, 1950; October, 1952.



## Размеры (в дюймах) фитингов из ковкого чугуна

Диаметр	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	Обратные колена (под углом 180°)										
												Диаметр			Диаметр			Диаметр				
												М	Н	Н	М	Н	Н	М	Н	Н		
закрытые			открытые			широкие																
1/8	11/16	1/2	1	11/16	13/16	—	—	9/16	15/16	—	1/4											
1/4	13/16	3/4	13/16	5/8	15/16	—	—	5/8	11/16	1	3/8											
3/8	15/16	13/16	17/16	11/16	11/16	21/8	17/16	3/4	13/16	11/8	3/8	1/2	1	13/4	1/2	11/2	17/8	3/8	11/2	15/8		
1/2	11/8	7/8	15/8	13/16	13/16	27/16	111/16	7/8	15/16	11/4	1/2	3/4	11/4	23/16	3/4	2	21/4	3/4	4	33/16		
3/4	15/16	1	17/8	15/16	15/16	213/16	21/16	11/16	11/2	17/16	9/16	1	11/2	21/2	1	21/2	25/8	3/4	6	41/2		
1	11/2	11/8	21/8	11/16	11/2	33/8	27/16	13/16	111/16	111/16	11/16	11/4	13/4	213/16	11/4	3	33/16	1	6	41/2		
11/4	13/4	15/16	27/16	11/4	111/16	41/16	215/16	11/4	115/16	21/16	11/16	11/2	23/16	33/16	11/2	31/2	33/8	11/4	6	43/4		
11/2	115/16	17/16	211/16	13/8	17/8	41/2	35/16	15/16	21/8	23/16	11/16	2	25/8	37/8	2	4	43/8	11/2	6	5		
2	21/4	111/16	31/4	111/16	21/4	57/16	4	17/16	21/2	213/16	3/4	Средние			21/2	41/2	415/16	2	5	43/4		
21/2	211/16	113/16	313/16	17/8	23/16	61/4	411/16	111/16	27/8	31/4	15/16	1/2	11/4	15/8	3	5	51/16	2	6	51/16		
3	31/8	23/16	41/2	21/8	3	71/4	51/16	113/16	33/16	311/16	1	3/4	11/2	115/16	4	6	611/16	3	71/2	613/16		
31/2	37/16	23/8	51/8	23/8	33/8	—	—	115/16	37/16	4	11/16	1	17/8	21/4	—	—	—	3	8	613/16		
4	33/4	23/8	511/16	21/2	33/4	87/8	615/16	21/10	311/16	43/8	11/8	11/4	21/4	213/16	—	—	—	6	12	113/16		
5	41/2	31/16	67/8	—	—	—	—	25/16	41/4	47/8	11/4	11/2	21/2	33/16	—	—	—	—	—	—		
6	51/8	37/16	8	—	—	—	—	21/16	43/4	43/8	15/16	2	3	37/8	—	—	—	—	—	—		

Данные по стальным трубам малого диаметра<sup>1</sup>

Номинальный диаметр в дюймах	Вес		Внутреннее рабочее давление <sup>2</sup>		Разрушающее давление <sup>3</sup>		Прогиб [8] под действием внешней нагрузки при укладке в траншее							
							при засыпке толщиной 5 футов (1,5 м)				при засыпке толщиной 10 футов (3 м)			
	1 фута в футах	1 м в кг	фунт кв. дюйм	кг/см <sup>2</sup>	фунт кв. дюйм	кг/см <sup>2</sup>	без грузовика		с грузовиком		без грузовика		с грузовиком	
							дюймы	мм	дюймы	мм	дюймы	мм	дюймы	мм
6	12,89	18,86	710	49,7	1510	105,7	0	0	0,01	0,25	0,01	0,25	0,01	0,25
8	16,90	25,15	550	38,5	650	45,5	0,01	0,25	0,02	0,51	0,02	0,51	0,02	0,51
10	21,15	31,47	440	30,8	330	23,1	0,03	0,76	0,06	1,52	0,05	1,27	0,07	1,78
12	25,15	37,42	370	25,9	190	13,3	0,06	1,52	0,12	3,05	0,10	2,54	0,12	3,05
14	27,65	41,14	340	23,8	120	8,4	0,09	2,29	0,21	5,33	0,19	4,83	0,24	6,10
18	35,67	53,08	260	18,2	60	4,2	0,21	5,33	0,41	10,41	0,39	9,91	0,47	11,94
20	39,67	59,03	240	16,8	40	2,8	0,28	7,11	0,53	13,46	0,49	12,45	0,59	14,99
24	47,68	70,96	200	14,0	25	1,75	0,44	11,18	0,75	19,05	0,71	18,03	0,83	21,08
24	125,49*	186,73	520*	36,4	190**	13,3	0,14**	3,56	0,24**	6,10	0,23**	5,84	0,27**	6,86
30	—	—	310**	21,7	230*	16,1	0,23**	5,84	0,40**	10,16	0,40**	10,16	0,48**	12,19

<sup>1</sup> Взято из проекта стандарта на стальные трубы (J. A. W. W. A; January, 1948, p. 24).

<sup>2</sup> Толщина стенок всех труб, указанных в табл. 20, составляет 0,188" (4,8 мм), за исключением тех, о которых указано особо. Трубы выпускаются со стенками восьми различных толщин до 0,5" (12,7 мм).

<sup>3</sup> Концентрически приложенное и равномерно распределенное внешнее давление.

\* Толщина стенки 0,5" (12,7 мм).

\*\* Толщина стенки 0,375" (9,5 мм).

проводов большого протяжения диаметром свыше 900—1 200 мм. В особенности они пригодны для укладки по мостам или в других подобных условиях, когда от труб требуется большая прочность и небольшой вес.

Изготовление стальных труб большой прочности, рассчитанных на высокое наружное давление, связано с некоторыми затруднениями. Поэтому стальная труба, если она выполнена не из рифленого металла и не усилена каким-либо другим образом, должна быть уложена так, чтобы была исключена всякая возможность приложения к ней больших внешних нагрузок.

Поскольку стальные трубы при прокладке их в грунте могут быстро разрушиться, их следует укладывать по поверхности грунта, и таким образом, чтобы они были доступны для осмотра и ремонта [9].

Срок службы стальной трубы в обычных условиях во многом зависит от качества изоляционного покрытия<sup>1</sup>. Бывали случаи, когда стальные трубы, находившиеся в эксплуатации в течение 50 лет, были еще в таком хорошем состоянии, в каком обычно бывают трубы после 20-летнего срока службы.

Стальные трубы изготавливаются клепаными или сварными<sup>2</sup>. Швы могут быть поперечными и продольными или поперечными и спиральными. Стальные трубы со спиральным сварным швом поставляются диаметром от 6 до 36" и длиной до 12 м.

Муфты типа Дрессер (Dresser), показанные на рис. 14 и 25, выполняются с применением резиновых колец или фланцев для обеспечения водонепроницаемости; кроме того, эти кольца или фланцы придают стыку гибкость, не свойственную клепаным и сварным швам. Для предотвращения соскальзывания со стыка на внутренней поверхности муфты предусматривается специальный выступ, который входит в зазор между концами соединяемых труб.

Ответвления к потребителям (вводы) устраиваются обычно из чугунных труб. Для присоединения могут быть применены хомуты с отверстиями надлежащего размера, устанавливаемые на стальной трубе с помощью специальных зажимов. Может быть

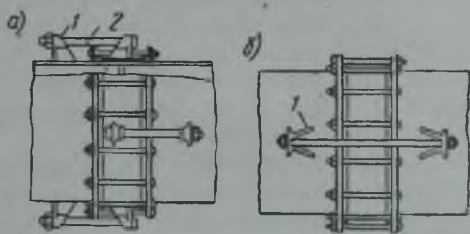


Рис. 25. Механические соединения, воспринимающие продольное усилие (из W. J. Hurlbut, J. A. W. W. A., October, 1943, p. 1284)

а — с соединительными болтами универсального действия; б — с соединительными болтами, пересекающимися; 1 — проушина; 2 — соединительные болты

<sup>1</sup> См. главу V, п. 16.

<sup>2</sup> См. также Технические условия С206-50Т, прежде 7А. 8-50, J. A. W. W. A., March, 1946; March, 1950, p. 315

также приварена к стальной трубе пластинка, с последующими сверлением в ней отверстия и нарезкой. Тройники, крестовины, колена и другие фасонные части<sup>1</sup>, изготовленные из сварной стали, с фланцевыми концами рассчитываются на рабочее давление до 8,8 ат.

**13. Железобетонные трубы.** Железобетонные трубы применяются при прокладке трубопроводов большого протяжения и реже в распределительных системах.

К числу преимуществ, которыми обладают железобетонные трубы, относятся следующие:

- 1) невысокие эксплуатационные расходы;
- 2) большой вес, препятствующий всплыванию труб в опорожненном состоянии;
- 3) при изготовлении требуется только транспортировка цемента и арматурной стали, если могут использоваться местные заполнители;
- 4) при прокладке в обыкновенном грунте и при транспортировании нормальной питьевой воды не подвергаются коррозии;
- 5) компенсационные швы не нужны [10];
- 6) при прокладке не требуется особо квалифицированной рабочей силы.

Недостатками являются:

- 1) возможность образования течи вследствие пористости и появления усадочных трещин;
- 2) возникновение коррозии в случае присутствия в воде щелочей или кислот;
- 3) сложность ремонтных работ.

Железобетонные трубы могут изготавливаться на месте или на заводе с доставкой на место в готовом виде.

Заводским способом можно получать трубы с гораздо более тонкими стенками, чем при изготовлении монолитных труб на месте. На месте желательнее изготавливать трубы диаметром, превышающим 1 500 мм, однако и трубы заводского изготовления иногда бывают гораздо большего диаметра. Применяя трубы сечением, показанным на рис. 26, вместо труб типа, показанного на рис. 27 и 29, можно получить экономию за счет уменьшения стоимости опалубки и более удачного распределения сил реакции основания. Железобетонные трубы со стальным цилиндром, без предварительного напряжения, должны соответствовать техническим условиям С300 Американской водопроводной ассоциации, а предварительно напряженные трубы — техническим условиям С301. Железобетонные трубы без цилиндра и без предварительного напряжения должны соответствовать техническим условиям С 302-51 Т<sup>2</sup>.

Водонепроницаемость железобетонных труб низкого давления достигается при достаточной толщине бетонных стенок и надлежа-

<sup>1</sup> См. также R. E. Barnard, op. cit., October, 1941, p. 1751.

<sup>2</sup> J. A. W. W. A., October, 1951, p. 85; December, 1951, p. 1000.



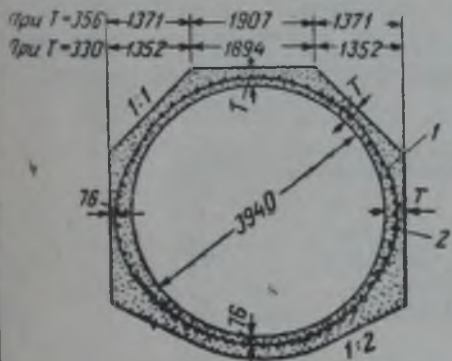


Рис. 26. Типовая цилиндрическая железобетонная труба для люка

1 — продольная стальная арматура диаметром 1", через 20 см (выше горизонтального диаметра); 2 — то же, диаметром 3/4" через 20 см (ниже горизонтального диаметра)

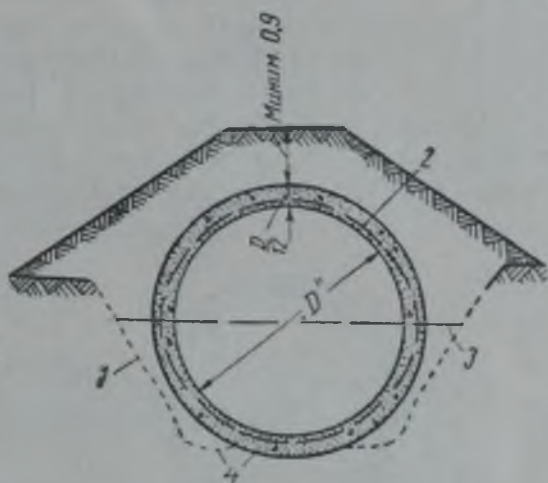


Рис. 27. Типовая железобетонная труба

1 — граница траншеи; 2 — эллиптическая арматура сварная или наreshенная; 3 — засыпка, хорошо утрамбованная до указанного уровня; 4 — дно траншеи с углублением для трубы

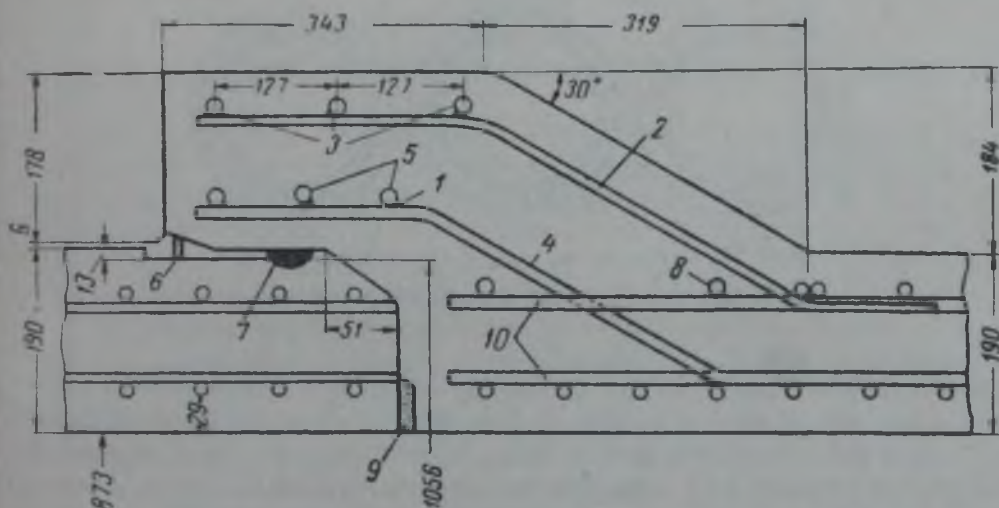


Рис. 28. Стык железобетонного водовода диаметром 1750 мм из Соленого озера (из Water Works Eng., October, 1951, p. 966)

1 — сварка прихваткой, как показано, или крепление проволокой; 2 — 25 стержней  $d=1/2"$  длиной 81 см, уложенных на одинаковом расстоянии; 3 — кольцевая арматура  $d=3/8"$ ; 4 — 25 стержней  $d=1/2"$  длиной 81 см, уложенных на одинаковом расстоянии; 5 — кольцевая арматура  $d=1/2"$ ; 6 — заливка раствором; 7 — резиновая прокладка; 8 — кольцевая арматура (сваренная впритык); 9 — зачеканка на месте; 10 — стандартная продольная арматура

щем качестве бетона и наличии продольной арматуры не менее 0,25% площади поперечного сечения бетона. Для труб большого диаметра минимальную толщину стенок принимают 1" на каждый фут диаметра трубы. Для обеспечения водонепроницаемости поверхность трубы после схватывания бетона смачивается.

Водонепроницаемость железобетонной трубы, рассчитанной на высокий напор, может быть достигнута путем включения в стенки трубы металлического цилиндра с тонкими стенками.

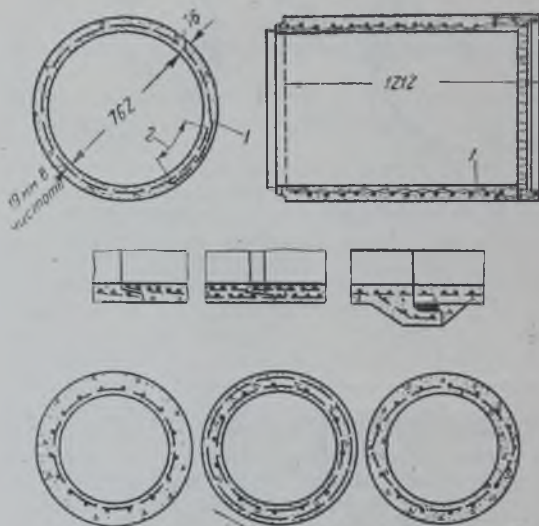


Рис. 29. Армирование железобетонных труб  
1 — треугольная арматурная сетка № 068; 2 — нахлестка

В этом случае трубы могут применяться как с предварительным напряжением арматуры, так и без него<sup>1</sup>. При предварительно напряженной арматуре могут быть применены трубы с меньшей толщиной стенки, так как предварительно сжатый бетон лучше противостоит усилиям, возникающим при внутреннем давлении<sup>2</sup>.

Для обычных условий эксплуатации арматура укладывается в трубу на заводе, что, как показывает опыт, дает вполне удовлетворительные результаты. Усилия, могущие возникнуть после

<sup>1</sup> См. также F. F. Longley, J. New Engl., Water Works Assoc., December, 1945, p. 335; D. B. Gumen'sky, Civil Eng., November, 1948, p. 42.

<sup>2</sup> См. также Water Works Eng., March, 20, 1946, p. 291.

того, как труба уложена на место, в расчет не принимаются. Расположение арматуры в железобетонной трубе показано на рис. 26—28.

В монолитных трубах диаметром свыше 1 500 мм, за исключением труб, рассчитанных на высокое внутреннее давление, обычно применяется эллиптическая поперечная арматура. Такие трубы должны укладываться, как показано на рис. 27. Сварная кольцевая арматура имеет то преимущество, что ее не требуется укладывать внахлестку. Это обеспечивает экономию стали и позволяет, в случае необходимости, размещать кольца на меньшем расстоянии друг от друга.

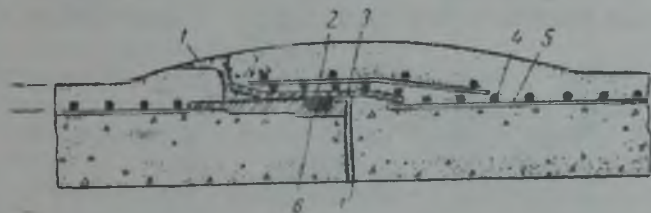


Рис. 30. Стык с резиновой прокладкой для цилиндрических предварительно напряженных труб (из Н. Е. Kennison, J. A. W. W. A., November, 1950, p. 1049)

1 — раствор, заливаемый после укладки; 2 — резиновая прокладка; 3 — стальной раструб; 4 — высокопрочная проволока; 5 — стальной цилиндр; 6 — стальное кольцо

При высоком напоре применяется двойная кольцевая арматура.

Изготовление бетонных изделий заводским способом производится также в соответствии с техническими условиями отдельных фирм, в зависимости от применения того или иного способа производства. Труба с замковым соединением (lock joint pipe) может быть изготовлена как на заводе, так и на месте. Детали замкового соединения показаны на рис. 30\*.

Бетонные трубы подвергаются коррозии<sup>1</sup> во влажных кислых грунтах или грунтах, насыщенных сульфатом магния или кальция. Такая коррозия является результатом деятельности бактерий, как это указывается в главе V, п. 7. Большинство случаев аварий вследствие коррозии, как это показывает практика, является результатом плохого качества материалов или плохой работы.

Ввиду того, что бетонные трубы прокладываются в грунте, резкие изменения температуры не оказывают на них никакого

\* F. F. Longley, J. New. Engl. Water Works Assoc., vol. 49, 1926, p. 212.

<sup>1</sup> См. также Corrosion of Cement and Concrete, Surveyor, March 2, 1945, p. 123.

влияния; при выполнении стыков расширение и сжатие не учитываются [10].

Как указано, предварительно напряженные железобетонные трубы могут быть изготовлены со стальным цилиндром. Стальной цилиндр может быть обмотан спиралью из высокопрочной проволоки, как показано на рис. 30. Обмотка в свою очередь покрывается защитным (не напряженным) слоем бетона, образующим наружную оболочку трубы. Наиболее экономичным является такое предварительное напряжение, определяемое расчетом, при котором напряжения на растяжение в стальном цилиндре и в проволочной обмотке имеют одинаковые значения.

Метод расчета таких труб дается Гуменским<sup>1</sup> и Кеннисоном<sup>2</sup>.

**14. Асбестоцементные трубы<sup>3</sup>.** Асбестоцементные трубы изготавливаются из асбестового волокна и портланд-цемента, спрессованных в плотную однородную массу, в которой цемент прочно сцепляется с асбестовым волокном.

Асбестоцементные трубы обладают следующими преимуществами:

- 1) высокой стойкостью против коррозии;
- 2) относительно небольшим весом (примерно на 25% легче стандартных чугунных труб);
- 3) диэлектричны;
- 4) легко режутся и обрабатываются;
- 5) легко транспортируются почти без риска повреждения их во время перевозки, легко просверливаются и нарезаются.

Стыки обладают гибкостью (для выполнения стыков рабочий не должен обладать особой квалификацией), не требуется никаких компенсаторов. Кроме того, первоначально высокий коэффициент Хазена и Вильямса, равный 140, с течением времени понижается незначительно.

К отрицательным свойствам можно отнести:

- 1) относительно низкую прочность на изгиб, что может привести к повреждению при транспортировании труб [11] или при подкапывании под трубу, находящуюся под давлением;
- 2) легкую возможность повреждения землеройными механизмами или инструментами;
- 3) ненадежность резины в соединениях в условиях воздействия продуктов газаolina и нефти;
- 4) возможность коррозии материала при наличии в грунте

<sup>1</sup> D. B. Gumensky, Civil Eng., November, 1948, p. 42.

<sup>2</sup> H. F. Kennison, J. A. W. W. A., November, 1950, p. 1049.

<sup>3</sup> См. Federal Specifications SS-P-351; AWWA Specifications in J.A.W.W.A., July, 1953, p. 773.



кислот и сульфатов, хотя диэлектричность асбестоцемента исключает возможность возникновения электролитической коррозии.

Асбестоцементные трубы изготавливаются следующими фирмами: Century, Eternite, Roxite и Transite<sup>1</sup>. Трубы последней фирмы выпускаются четырех различных сортов с расчетом на внутреннее давление от 3,5 до 14 ат; со стандартным внутренним диаметром от 2 до 36" (50—900 мм) и длиной от 1,5 до 3,0 м — для диаметра 2—3½" и 3,9 м — для диаметра 4" и выше. Все трубы имеют гладкие концы, причем наружная поверхность их обработана (обточена) машинным способом с расчетом на установку муфты, показанной на рис. 31. Никакой особой квалификации для выполнения соединений не требуется, так как муфта надевается поверх резиновых колец, которые накатываются на трубу и обеспечивают плотное и гибкое соединение. Нарезка для присоединения домовых вводов производится таким же образом, как и на чугунных трубах, причем ответвления могут быть различной длины, даже короче стандартных и под любым углом. Резка производится обычной пилой с применением ярунка [12]. Стандартные чугунные фасонные части могут быть присоединены к асбестоцементной трубе с применением сернистого состава или чушкового свинца.

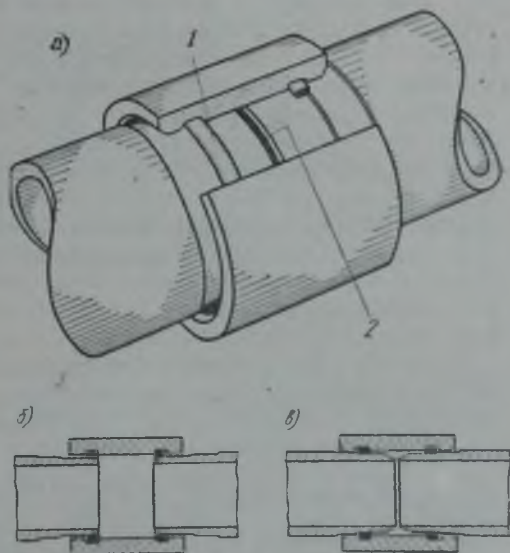


Рис. 31. Муфта Ring Tite для асбестоцементных труб (по материалам Johns-Manville Co., Industrial Products Division)

а — общий вид муфты; б — резиновые кольца в желобках перед соединением; в — резиновые кольца в желобках после соединения; 1 — уплотняющие резиновые кольца; 2 — концы труб автоматически раздвигаются или сдвигаются при изгибе и расширении

**15. Домовые вводы<sup>2</sup>.** Для выполнения домовых вводов чаще всего применяются трубы медные, латунные, свинцовые, чугунные, из ковкого чугуна и стальные. Перечисленные материалы отвечают всем требованиям, содержащимся в Сборнике стандартных технических условий на материалы для устройства до-

<sup>1</sup> См. также Committee Report, J. A. W. W. A., May, 1937, p. 607. F. W. Blakeley, J. New Engl. Water Works Assoc. September, 1937, p. 317.

<sup>2</sup> См. также J. A. W. W. A., November, 1952, p. 1021.

мовых вводов — неофициальном отчете комитета Американской водопроводной ассоциации, опубликованном вместе с Техническими условиями C800 AWWA на резьбу для фитингов домовых вводов, прокладываемых в грунте. Иногда домовые вводы выполняются из перечисленных труб с покрытием из олова, свинца, портланд-цемента и пластических материалов.

Для устройства домовых вводов наиболее пригодны медные трубы, ввиду их высокой противокоррозионной устойчивости, гибкости, несложности их монтажа и относительно небольшого гидравлического сопротивления. Медные трубы могут быть присоединены к распределительному трубопроводу без применения обычных S-образных труб, причем раструбный конец трубы присоединяется непосредственно к соединительному крану, без нарезки. Трубы могут быть уложены в грунт следующим образом: сначала забивают (продавливают) стальную трубу, затем в эту трубу укладывают медную трубу; стальную трубу извлекают, а медная труба остается на месте. Медь незначительно растворяется в питьевой воде и не может представлять какую-либо опасность для здоровья<sup>1</sup>.

Свинец обладает многими свойствами, сходными с медью, — высокой противокоррозионной устойчивостью, гибкостью и незначительным гидравлическим сопротивлением. Обычно считается недопустимым применение свинцовых труб при высоком давлении и, кроме того, существует предубеждение против свинца, основанное на опасении отравления свинцом. Свинцовые трубы, даже отвечающие всем необходимым требованиям существующих технических условий, иногда разрушаются<sup>2</sup> в результате «ползучести» или вследствие появления междукристаллических трещин.

Способность противостоять междукристаллическому растрескиванию при крупнозернистой структуре может быть повышена применением сплава свинца с сурьмой, висмутом, оловом, кадмием и некоторыми другими металлами.

Наиболее дешевым материалом для выполнения домовых вводов являются, пожалуй, трубы из оцинкованного чугуна или стали. Поскольку оцинкованный чугун или сталь не отличаются большой антикоррозионной устойчивостью, их следует использовать только для временных установок или в тех случаях, когда трубы находятся в условиях, исключающих возможность коррозии.

Трубы из чугуна, латуни и других металлических сплавов могут быть применены для устройства домовых вводов, поскольку все они обладают противокоррозионной устойчивостью; однако их антикоррозионная устойчивость распространяется не на все виды коррозии, например, латунные трубы непригодны для при-

<sup>1</sup> См. также F. E. Hale, *Water Works Eng.*, v. 95, 1942, p. 84, 139, 187, 240.

<sup>2</sup> См. также B. Jones, *Engineering*, March, 18, 1938, p. 285.

менения в условиях близости к морской воде. Чугунные трубы применяются для устройства домовых вводов диаметром от 2" (50 мм) и выше.

**16. Присоединение домовых вводов.** Домовый ввод обычно присоединяется к распределительному трубопроводу, проложен-

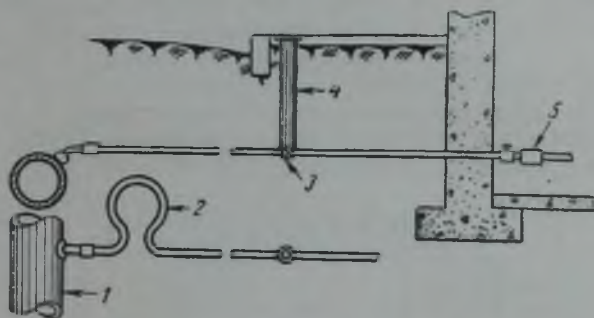


Рис. 32. Типовое устройство домового ввода

1 — водопроводная труба; 2 — S-образный компенсатор; 3 — задвижка; 4 — кожух для шпинделя задвижки; 5 — водомер

ному под улицей, при помощи клапана (называемого присоединительным краном), который ввинчивается в отверстие, прорезанное в трубопроводе. Такое присоединение может быть выполнено без выключения распределительного трубопровода<sup>1</sup>. Ввиду возможности смещения ввода по отношению к распределитель-

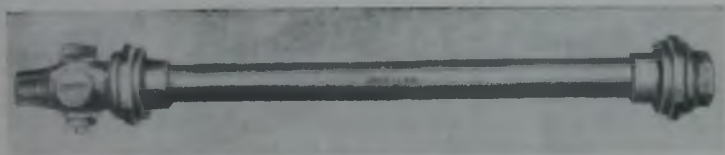


Рис. 33. Свинцовый компенсатор (по материалам Mueller)

ному трубопроводу, ввод должен обладать некоторой гибкостью. Это достигается применением компенсатора, например в виде S-образного соединения из гибкого, упругого материала. Типовая установка домового ввода и компенсатора показана на рис. 32 и 33.

Ля Дю<sup>2</sup> предложил специальный защитный кожух для за-

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng., July, 1950, p. 638.

<sup>2</sup> W. R. La Due, J. A. W. W. A., October, 1946, p. 1144.

движек, который показан на рис. 32. К присоединению<sup>1</sup> должен быть обеспечен доступ. Домовый ввод подводится к запорно-выпускной задвижке, устанавливаемой рядом с фундаментной стеной внутри здания.

Водомер, если он предусматривается, может быть установлен рядом с запорно-выпускной задвижкой со стороны домовой сети. Иногда водомеры устанавливаются в специальном колодце за пределами здания. Диаметр ввода и калибр водомера зависят<sup>2</sup> от давления в водопроводной магистрали, длины домового ввода и числа и типов водоразборной арматуры. Как правило, расход воды из водоразборной арматуры вполне достаточен, если давление в арматуре составляет 0,35—0,70 ат при полностью



Рис. 34. Некоторые виды присоединений домовых вводов (из М. Р. Hatcher, J. A. W. W. A., December, 1947, p. 1165)

открытом кране (вентиле). Обычно диаметр домовых вводов и водомеров (для жилых домов) принимается:  $\frac{5}{8}$ ,  $\frac{3}{4}$  и 1". Ряд ориентировочных данных о величине потерь напора в водомере и домовых вводах приведен в табл. 21.

Присоединение домовых вводов бывает иногда связано с рядом затруднений. На рис. 34 показан ряд примеров присоединений нежелательных, но иногда совершенно неизбежных<sup>3</sup>.

Рекомендуемые диаметры домовых вводов приведены в табл. 22.

**17. Пластмассы<sup>4</sup>.** Пластмассы, применяемые для изготовления наружных и внутренних водопроводов, относятся главным образом к типу поливинилхлоридных и ацетат-бутиратцеллюлозных<sup>5</sup>.

Для изготовления труб большого и малого диаметра чаще всего применяются три вида пластических материалов: саран (saran), тэнит (tenite) и пластитьюб (plastitube).

Саран<sup>6</sup> представляет собой упругий желтоватый прозрачный

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng., March, 1951, p. 227; May, 1951, p. 482

<sup>2</sup> См. также W. B. Bushway, J. New Engl. Water Works, Assoc., December, 1944, p. 317.

<sup>3</sup> Из М. Р. Hatcher, J. A. W. W. A., December, 1947, p. 1165.

<sup>4</sup> См. также W. D. Tiedeman, J. A. W. W. A., August, 1954, p. 775.

<sup>5</sup> British standards for polythene tubing, см. Water and Water Eng., June, 1953, p. 244.

<sup>6</sup> См. также F. M. Dawson and A. A. Kalinske. J. A. W. W. A., August, 1943, p. 1058.



Приблизительные величины потерь напора в водомерах и домовых вводах  
(технический отдел департамента водоснабжения в гор. Сент-Пауль)\*

Расход		Потери напора в водомере и на 100 футов домового ввода в фунт/дюйм <sup>2</sup> (в м на 100 м)						Потери напора в водомере и на 100 футов домового ввода в фунт/дюйм <sup>2</sup> (в м на 100 м)					
в галл/мин	в л/сек	Калибр водомера в дюймах						Диаметр трубы в дюймах					
		3/8	1/2	1	1 1/4	1 1/2	2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	
10	0,63	6 (13,8)	2,0 (4,6)	0,5 (1,15)	0,5 (1,15)	0,2 (0,46)	—	30,0 (69,0)	11,0 (25,3)	3,0 (6,9)	0,9 (2,07)	0,3 (0,69)	0,1 (0,23)
12	0,76	9 (20,7)	3,0 (6,9)	1,0 (2,3)	1,0 (2,3)	—	—	41,5 (95,5)	25,0 (57,5)	4,5 (10,35)	1,4 (3,22)	0,5 (1,15)	—
14	0,88	11 (25,3)	4,0 (9,2)	1,5 (3,45)	1,5 (3,45)	—	—	55,5 (127,71)	19,5 (44,9)	6,0 (13,8)	2,0 (4,6)	0,7 (1,61)	—
16	1,01	14 (32,2)	5,0 (11,5)	2,0 (4,6)	2,0 (4,6)	—	—	71,0 (163,3)	24,5 (56,4)	7,5 (17,25)	2,3 (5,3)	0,9 (2,07)	—
20	1,26	22 (50,6)	8,0 (18,4)	3,5 (8,1)	3,0 (6,91)	1,0 (2,3)	0,4 (0,92)	—	37,5 (86,3)	11,5 (26,45)	3,7 (8,5)	1,4 (3,22)	0,4 (0,92)
24	1,51	—	11,0 (25,3)	5,0 (11,5)	4,0 (9,2)	—	—	—	53,5 (123,1)	16,5 (37,95)	5,0 (11,5)	2,2 (5,06)	—
30	1,89	—	19,5 (58,5)	8,0 (18,4)	7,0 (16,1)	2,0 (4,6)	0,9 (2,07)	—	—	25,5 (58,65)	7,5 (17,3)	3,5 (8,05)	0,9 (2,07)
40	2,52	—	—	14,0 (32,2)	12,0 (27,6)	4,0 (9,2)	1,5 (3,45)	—	—	48,0 (110,4)	14,8 (34,0)	6,5 (14,95)	1,6 (3,68)
50	3,15	—	—	22,0 (50,6)	—	6,0 (13,8)	2,5 (5,75)	—	—	—	22,0 (50,6)	10,0 (23,0)	2,4 (5,52)
75	4,73	—	—	—	—	14,0 (32,2)	5,5 (12,65)	—	—	—	45,6 (104,9)	22,4 (51,5)	5,3 (12,19)
100	6,30	—	—	—	—	25,0 (57,5)	10,0 (23,0)	—	—	—	—	39,0 (89,7)	9,5 (21,85)

\* G. Roden, Sizing and Installation of Service Pipes, J. A. W. W. A., May 1946, p. 637.

Рекомендуемые диаметры домовых вводов в дюймах (мм)  
(высчитанные, исходя из потери напора в 6 м на длине  
от распределительной магистрали до водомера\*)

Тип здания	При длине домового ввода от распределительной магистрали до водомера в футах (метрах)			
	100(30)	50(15)	25(7,5)	10(3,0)
А	1 <sup>1/4</sup> (32)	1 (25)	1 (25)	3/4 (19)
Б	1 <sup>1/2</sup> (38)	1 <sup>1/4</sup> (32)	1 <sup>1/4</sup> (32)	1 (25)
В	2 (50)	1 <sup>1/2</sup> (38)	1 <sup>1/2</sup> (38)	1 <sup>1/4</sup> (32)
Г	2 (50)	2 (50)	1 <sup>1/2</sup> (38)	1 <sup>1/4</sup> (32)

\* Из Н.Е. Babbit, Plumbing, 2-е издание, р. 65; Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New-York, 1950.

- А — Обычный жилой дом для одной семьи в 2—2<sup>1/2</sup> этажа в 8—10 комнат, с 1 ванной, кухонной сливной раковиной, прачечными корытами и садовым шлангом.
- Б — Дом на две семьи или более, состоящий из 16 комнат с 2 ванными комнатами, 2 кухонными сливными раковинами, прачечными корытами и 1 садовым шлангом.
- В — Дом на 4 квартиры, каждая по 6 комнат, с 4 ванными, 4 кухонными сливными раковинами, 4 установками для стирки и 1 садовым шлангом.
- Г — Многоквартирный дом на 25 квартир, с общим числом комнат 100; с полным оборудованием 1 ванной, 1 кухни и 1 прачечной для каждой квартиры и 2 шлангами для дома.

пластический материал из поливинилхлорида. Он плавится при температуре 154°, выдерживает постоянную температуру воды до 77°; стенки труб из поливинилхлорида гладкие, теплопроводность сарана составляет 0,00022 от теплопроводности меди; коэффициент расширения равен 0,000083 и объемный вес около 2 000 кг/м<sup>3</sup>. Трубы из черного сарана выпускаются диаметром от 1/2 до 4" (13—100 мм). Они выдерживают давление до 105 ат. в зависимости от диаметра и толщины стенок трубы. Трубы могут соединяться на резьбе (как и металлические) или путем автогенной сварки.

Пластитьюб и пластифлекс (plastiflex) — пластические материалы, прокатанные из ацетат-бутиратцеллюлозы. Пластитьюб отличается жесткостью; трубы из этого материала поставляются длиной 3,6 м. Пластифлекс — гибкий материал, поэтому трубы из пластифлекса, длиной 18 м, поставляются в катушках; на-

ружный диаметр труб —  $\frac{1}{8}$ —2" (3—50 мм). Тенит — материал, по своим свойствам похожий на предыдущие, но менее пригодный для изготовления труб, поскольку отличается почти такой же низкой огнестойкостью, как и обычная газетная бумага из древесной целлюлозы.

Положительные качества пластических материалов, в особенности сарана, следующие: антикоррозийная стойкость, морозостойкость и стойкость против воздействия воды в закрытой трубе; кислотостойкость против растворов почти 10%-ной концентрации; легкий вес — около 11% веса чугуновой трубы; легкость выполнения стыков и гнутья; достаточная прочность; долговечность; стойкость против воздействия солнечных лучей; прочность на удар; неэлектропроводность; упругость и гибкость. В некоторых случаях трубы могут транспортироваться в катушках. Саран не рекомендуется для применения при температуре выше 82°. При выборе пластических материалов следует учитывать, что они могут быть токсичными<sup>1</sup> и сообщать привкус воде.

**18. Алюминий.** Алюминий используется для таких водопроводных сооружений<sup>2</sup>, как резервуары, водонапорные баки, а также для изготовления лестниц, плит перекрытий, перил, дверей и для электропроводки. Алюминий по сравнению с черными металлами имеет следующие преимущества: высокую противокоррозийную стойкость, легкий вес при той же самой прочности, не требует окраски. Алюминиевые трубы легко изготавливаются и монтируются.

---

<sup>1</sup> См. также Am. City, January, 1952, p. 116, J. G. Carns, Jr. and M. E. Knight, Water & Sewage Works, November, 1952, p. 446; J. N. Spaulding, J. A. W. W. A., May, 1953, p. 476; Panel Discussion, там же, July, 1953, p. 757.

<sup>2</sup> J. M. Perryman, J. A. W. W. A., December, 1946, p. 1327.

## Глава IV

### КЛАПАНЫ, ЗАДВИЖКИ, ЗАТВОРЫ, ГИДРАНТЫ И ВОДОМЕРЫ

**1. Задвижки и клапаны.** В водопроводной практике в системах трубопроводов применяются задвижки для регулирования расхода и давления воды, клапаны для впуска и выпуска воздуха и других целей [13].

Одни виды задвижек (клапанов) больше подходят для одних целей, другие — для других. Американская водопроводная ассоциация периодически выпускает стандартные технические условия на наиболее распространенные виды задвижек (клапанов). С помощью специальных инструментов задвижку можно установить на трубопроводе, не нарушая существующего давления<sup>1</sup>.

Задвижки, применяемые в домовых водопроводах, паровых силовых установках и для другого специального назначения в водопроводной практике, не стандартизованы.

Потери напора в задвижках, арматуре, фитингах и домовых вводах определяются из выражения

$$H = K \frac{V^2}{2g} \text{ или } H = k \frac{Q^2}{d^5},$$

где  $H$  — потеря напора в футах;

$V$  — скорость движения воды в фут/сек в трубах такого же номинального диаметра, как и диаметр задвижки или фитинга;

$Q$  — расход в галл/мин;

$K$  и  $k$  — постоянные величины. Значения их указаны в табл. 23.

**2. Шиберные задвижки<sup>2</sup>.** Шиберные задвижки — наиболее распространенный вид задвижек, применяемых в водопроводной практике. Они имеют низкую стоимость и небольшое гидравлическое сопротивление в полностью открытом состоянии.

Шиберные задвижки, применяемые в водораспределительных системах, обычно выполняют из чугуна с латуниной арматурой [14].

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng., December, 1950, p. 1119; April, 1951, p. 348.

<sup>2</sup> См. там же, December, 1950, p. 115; January, 1951, p. 47; Standard Specifications C 500-52T, J. A. W. W. A., September, 1952, p. 857.



Задвижками небольших размеров на трубах, проложенных в грунте, можно управлять с поверхности земли через кожух с помощью ключа, как показано на рис. 35.

При высоком постоянном давлении желательнее применение гидравлических задвижек.

У быстрооткрывающихся

шиберных задвижек диск приводится в движение при помощи специальной рукоятки, похожей на рукоятку насоса (рис. 36). Задвижки этого типа пригодны только для труб небольшого диаметра. Слишком быстрое открывание крупных задвижек нежелательно ввиду опасности возникновения гидравлического удара.

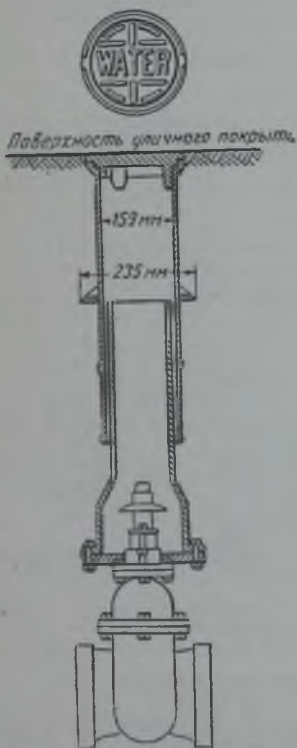


Рис. 35. Задвижка с кожухом для шпинделя



Рис. 36. Быстрооткрывающаяся задвижка (по материалам CraneCo)

Площадь открытия шиберной задвижки или расход через нее изменяется не прямо пропорционально степени открытия задвижки. Степень открытия задвижки обычно определяется отношением числа оборотов при открывании шибера к общему числу оборотов, необходимому для полного открытия задвижке.

**3. Шарообразные вентили.** Шарообразные вентили применяются почти исключительно на трубах диаметром 4" и меньше в основном на внутренних водопроводных системах. В наружных распределительных системах они применяются редко. Шарооб-

Значения постоянных  $K$  и  $k$  для задвижек, фитингов или труб

Задвижка, фитинг или труба	$k$	Задвижка, фитинг или труба	$K$
<i>Шибберная задвижка:</i>		<i>Домовые вводы VI</i>	
открытая	0,19 <sup>I</sup>	Свинцовые трубы 5/8"	0,00035
на 3/4	1,15 <sup>I</sup>	То же, 3/4"	0,00036
на 1/2	5,6 <sup>I</sup>	1"	0,00039
на 1/1	24 <sup>I</sup>	Медные трубы 3/4"	0,00033
Шарообразная задвижка	10 <sup>II</sup>	То же, 1"	0,00034
открытая		Оцинкованные стальные	0,00036
Угловая задвижка открытая	5 <sup>III</sup>	трубы VII 1/2"	
Колено 90°:		То же VII 3/4"	0,00036
с наибольшим радиусом	0,93 <sup>III</sup>	1"	0,00035 ]
со средним радиусом	0,75 <sup>IV</sup>		
с большим радиусом	0,6 <sup>IV</sup>	<i>Общие краны</i>	
Обратное колено	2,2 <sup>II</sup>	Со штуцером для под-	0,00127
Колено 45°	0,42 <sup>II</sup>	водки 1/2"	
Колено 22 1/2° (18")	0,13 <sup>IV</sup>	С 3/4" медной переходной	0,0007
Тройник	1,25 <sup>IV</sup>	муфтой 1/2"	
Переходная муфта с	0,25 <sup>IV</sup>	То же, 3/4"	0,0023
раструбом на конце		Со штуцером для под-	0,0020
меньшего диаметра		водки 3/4"	
Скорость $V$ у конца		С 1"-й медной переход-	0,0029
меньшего диаметра. Для		ной муфтой 1"	
переходной муфты с рас-			
трубом на конце больш-		<i>Запорные задвижки</i>	
шего диаметра		на вводе	
$V = 0,25 \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$		Свинцовый ввод 3/4"	0,002
Колоколообразная пе-	0,10 <sup>IV</sup>	Медный ввод 3/4"	0,0012
реходная муфта		Свинцовый ввод 1"	0,001
Выдвигающийся затвор	1,80 <sup>IV</sup>	Медный ввод 1"	0,00059
открытый			
Шлюзовой затвор на	2,35 <sup>IV</sup>		
12" стенке, погружен-			
ный			
Ответвления или от-	0,03 <sup>IV</sup>		
верстия			

Примечания. I. Univ. Wis., Bull. p. 252.

II. Crane Co., Bull. p. 405.

III. Univ. Texas, Bull. p. 2712.

IV. Burns and McDonnell, Water Works and Sewerage, May, 1937 p. 196.

V. Величины взяты из J. A. W. W. A., May, 1932, p. 631.

VI. Потери напора в домовых вводах даны на 1 фут длины трубы.

VII. Предполагаются новые трубы.

разные вентили и их ремонт обходятся дешевле, чем шибрные задвижки такого же диаметра. Недостаток шарообразных вентилей заключается в относительно высокой потере напора вследствие извилистости прохода. Пример шарообразного вентиля приведен на рис. 37. Сравнительно недорогой тип шарообразного вентиля, называемого угловым вентиляем, показан на рис. 38.

**4. Обратные клапаны<sup>1</sup>.** Обратные клапаны применяются в тех случаях, когда требуется обеспечить движение воды только в одном направлении. При обратном движении поток автомати-

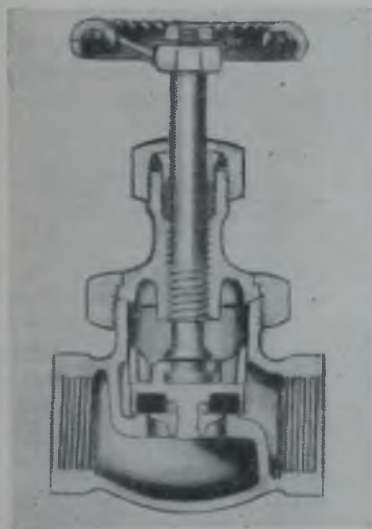


Рис. 37. Разрез шарообразной задвижки (по материалам Crane Co)

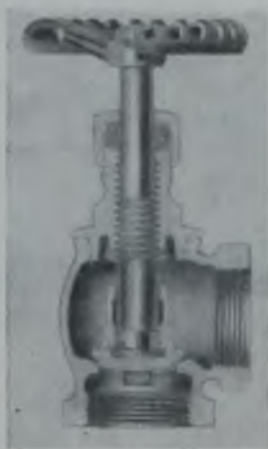


Рис. 38. Угловой вентиль

чески останавливается клапаном. Четыре типа обратных клапанов показаны на рис. 39<sup>2</sup>. Клапан, показанный на рис. 39,а, относится к типу клапанов с прямым проходом, так как имеет прямой проход по всей площади трубы.

**5. Захлопывание обратного клапана.** Когда обратный клапан внезапно закрывается (захлопывается) в результате обратного тока воды в трубе, сила, стремящаяся остановить движение воды, пропорциональна давлению на клапан<sup>3</sup>. Эта сила способствует ускорению движения воды в направлении, обратном нор-

<sup>1</sup> См. также Н. J. Barlett, Water & Sewage Works, April, 1948, p. 138.

<sup>2</sup> См. также Water Works Eng., February, 1953, p. 120.

<sup>3</sup> См. также Н. K. Palmer, Water Works & Sewerage, June, 1942, p. R58.

мальному направлению движения воды в трубопроводе и может быть выражена следующими уравнениями

$$hAw = \frac{AwaL}{g}$$

и

$$a = \frac{hg}{L},$$

где  $h$  — статическое давление на клапан в момент изменения направления потока;

$A$  — площадь поперечного сечения трубы;

$w$  — вес единицы воды;

$L$  — длина трубы;

$g$  — ускорение силы тяжести.

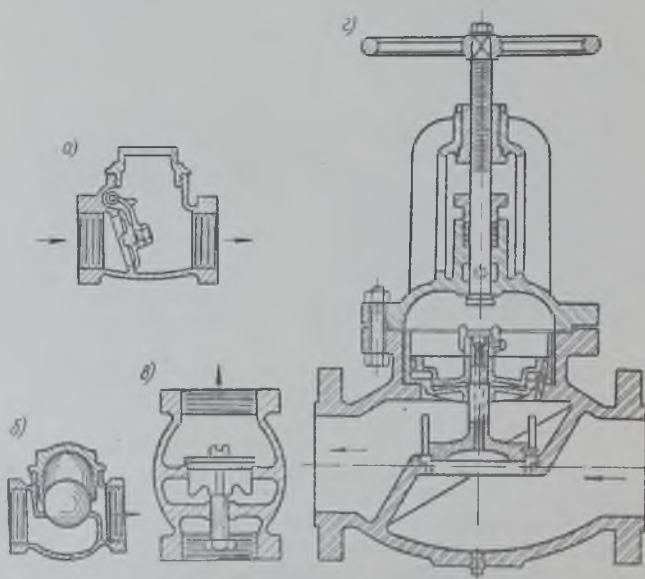


Рис. 39. Обратные клапаны

*a* — шарнирный; *b* — шаровой; *c* — вертикальный; *d* — с регулируемым закрытием (Андерсона)

Сила захлопывания обратного клапана ослабляется при помощи механических или других медленно закрывающихся приспособлений, или, наконец, устройств, создающих воздушные подушки.



Для уменьшения образования волн давления в водопроводной сети служит обратный клапан, устанавливаемый у насоса<sup>1</sup>. Открывание и закрывание этого клапана регулируется поплавковым клапаном, приводимым в действие соленоидом в зависимости от давления при выходе воды из насоса. Интенсивность давления, возникающего частично при внезапном закрытии обратного клапана, зависит от продолжительности его закрытия.

На рис. 40 и 41 показаны два типа медленно закрывающихся обратных клапанов. В клапане, показанном на рис. 40, при прохождении через него воды поршень находится в приподнятом состоянии. При движении потока в обратном направлении некоторое количество воды проходит через отверстие *Б* и заставляет поршень *А* под действием давления опуститься в тот самый момент, когда давление воды передается через отверстия *В* в кольцевой канал, имеющийся вокруг краев поршня. Это обеспечивает тормозящее и амортизирующее действие на опускающийся поршень. На рис. 41 показан клапан с вращающимся конусом. В полностью открытом состоянии этот клапан обеспечивает свободный проход воде.



Рис. 40. Обратный клапан с замедленным закрытием, без захлопывания (по материалам Golden-Anderson Valve Specialty Co.)

Клапан закрывается под давлением воды, создающимся в специальном механизме, показанном на рис. 41. Механизм может быть установлен на требуемую продолжительность закрытия клапана.

Принцип действия клапана с вращающимся конусом используется для быстрозакрывающихся клапанов, применяемых с целью регулирования расхода, и в устройствах автоматического действия.

**6. Клапаны для выпуска воздуха<sup>2</sup>.** Клапан, служащий как для выпуска, так и для впуска воздуха в трубу, называется клапаном для выпуска воздуха; если же клапан только впускает воздух, то он называется клапаном для впуска воздуха. Клапан

<sup>1</sup> См. также S. B. Morris, J. A. W. W. A., September, 1946, p. 993.

<sup>2</sup> См. также Water Works Eng., January, 1950, p. 46; J. Parmakian, Proc. Am. Soc. Civil Enrs., v. 75, 1949, p. 789.

для выпуска воздуха показан на рис. 42. Если такой клапан установлен в верхней части трубопровода, куда вода поступает под давлением, превышающим атмосферное, то воздух, собирающийся в клапане, заставляет поплавков опускаться, открывая тем самым выход себе наружу и исключая, таким образом, возможность скапливания воздуха.

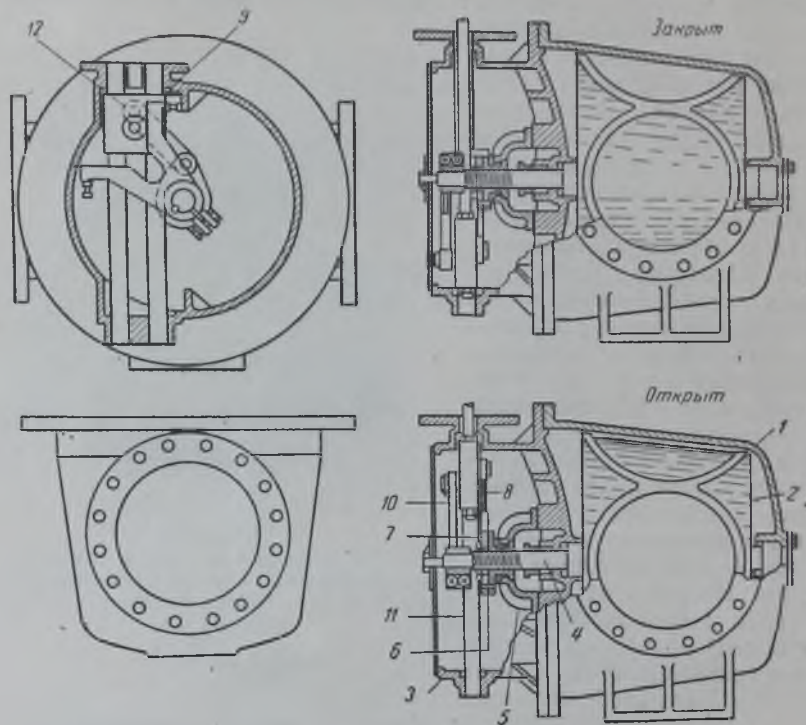


Рис. 41. Вращающаяся коническая задвижка

1 — корпус; 2 — пробка-конус; 3 — крышка; 4 — стержень; 5 — хомут; 6 — гайка подъемная; 7 — рычаг подъемный; 8 — кулиса; 9 — крестовина; 10 — рычаг ротора; 11 — направляющие; 12 — валик (по материалам Golden-Anderson Valve Speciality Co.)

Если давление в трубе понижается и уровень воды опускается, то поплавков также опускается, благодаря чему воздух поступает в трубопровод и предотвращает возможность образования вакуума.

**7. Уравновешенные клапаны.** Разрез уравновешенного клапана показан на рис. 123, где изображен регулятор скорости фильтрования Симплекс. Понижение давления диафрагмы уравновешивается весом движущихся частей с учетом преодоления силы трения. Принцип действия уравновешенного клапана

используется во многих автоматических устройствах и в клапанах специального назначения.

**8. Клапаны для регулирования давления<sup>1</sup>.** Клапан для регулирования давления [15] применяется при подаче воды из системы высокого давления в систему низкого давления. Некоторые виды таких клапанов показаны на рис. 43, 44.

**9. Предохранительные клапаны.** Предохранительные клапаны служат для уменьшения чрезмерного давления, которое может создаться в закрытом резервуаре. Один из видов такого клапана показан на рис. 45.

Когда давление достигает установленного предела, вода проходит через отверстие *А* и воздействует на диафрагму, находящуюся под регулирующей пружиной, открывая, таким образом, вспомогательный клапан. Это дает возможность воде, которая под действием первоначально давления прошла через главный клапан *Б*, пройти далее через отверстия *В* и *Г*, уменьшая тем самым чрезмерное давление. Регулирующее приспособление клапана управляет-

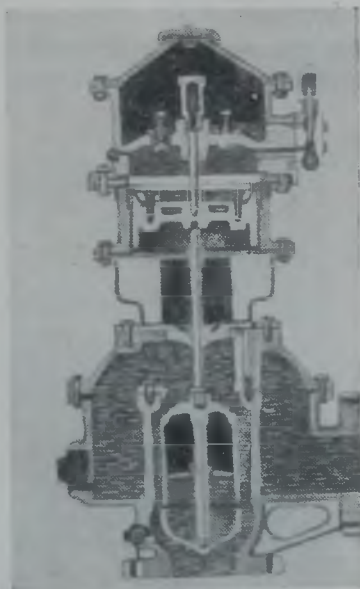


Рис. 42. Клапан для выпуска воздуха (по материалам Simplex Valve and Meter Co.)

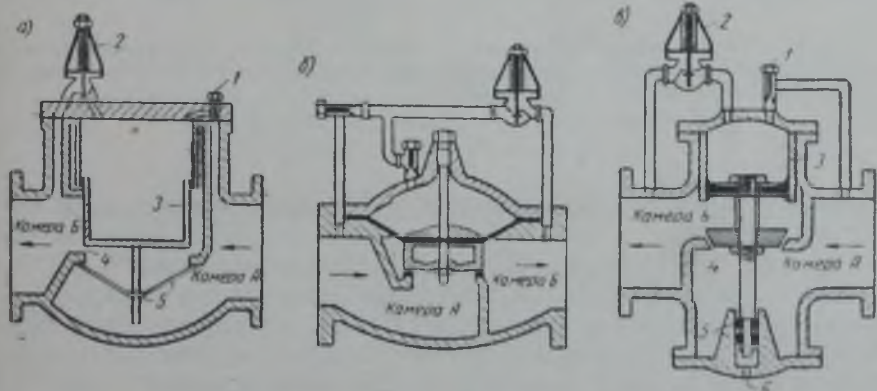


Рис. 43. Клапаны для регулирования давления (из Water Works Eng. September, 1943, p. 827)

*а* — редукционный клапан с главным клапаном, действующим от пустотелого поршня; *б* — редукционный клапан с главным клапаном, действующим от диафрагмы; *в* — редукционный клапан с главным клапаном, действующим от пустотелого поршня; *1* — игольчатый клапан; *2* — вспомогательный регулирующий клапан; *3* — пустотелый поршень; *4* — главный клапан и седло; *5* — направляющие стержни; *6* — вентиляционное отверстие

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng., September, 1949, p. 827.

ся давлением, действующим на регулируемую пружину, показанную в верхнем левом углу рис. 45.

**10. Высотные клапаны.** Клапаны этого типа [16] применяются главным образом на подающих линиях в водонапорных резервуарах. Когда резервуар наполняется, клапан автоматически закрывается, а когда давление у клапана со стороны насосов уменьшается по сравнению с давлением со стороны резервуара, клапан автоматически открывается. На рис. 46 показан разрез

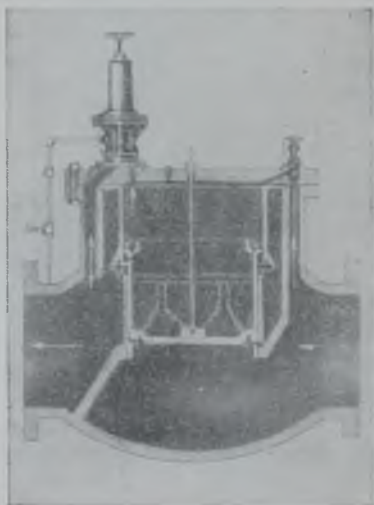


Рис. 44. Редукционный клапан для понижения давления (по материалам Golden-Anderson Valve Specialty Co.)

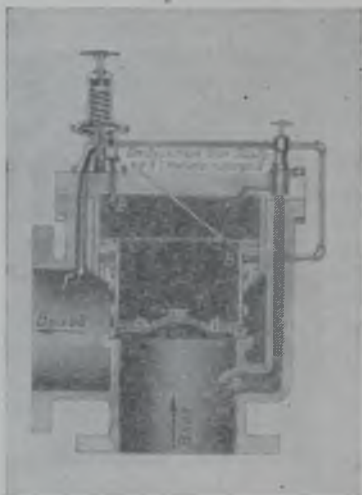


Рис. 45. Предохранительный клапан (по материалам Golden-Anderson Valve Specialty Co.)

такого клапана, работающего под действием давления воды в трубопроводе.

На рис. 46 клапан показан в закрытом состоянии, когда давление над диафрагмой *А* уже воздействовало на пружину *Б*. Это заставляет головку шпинделя закрыть вспомогательный выпускной клапан *В* и открыть вспомогательный клапан *Г* высокого давления, что дает возможность давлению распространяться над поршнем через отверстие *Д*, вспомогательный клапан и отверстие *Е*. Поскольку площадь верхнего поршня *Ж* больше, чем площадь нижнего поршня, большее общее давление вверху заставляет поршень *Ж* оставаться в закрытом положении. При понижении уровня воды в резервуаре до диафрагмы *А* спиральная пружина *Б* заставляет головку шпинделя подниматься и клапан *В* открывается. Это заставляет клапан высокого давле-



ния Г закрываться и открывать отверстие Е, затем вспомогательную задвижку, а также отверстие З для сообщения с атмосферой. Это понижает давление на поршень Ж, позволяя ему полностью открываться. При каждом открытии высотного клапана над поршнем Ж выпускается чрезвычайно малое количество воды. Выпуск обычно присоединяется к трубам соответствующего диаметра.

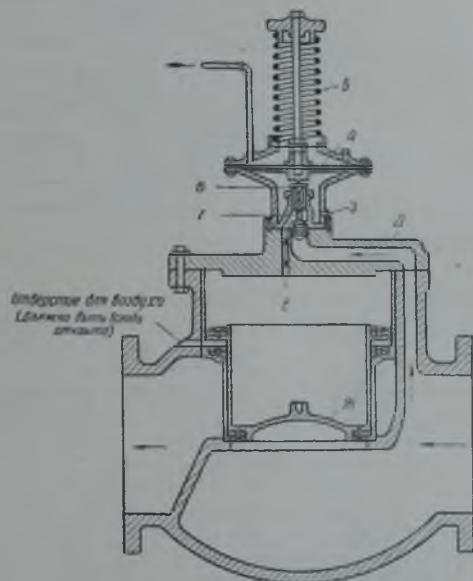


Рис. 46. Высотный клапан (по материалам Golden-Anderson Valve Specialty Co.)

Имеются и другие виды клапанов, работающих от электрического тока, подаваемого к соленоиду.

**11. Устройства для регулирования уровня воды.** Устройства, служащие для регулирования уровня воды в отстойниках, фильтрах и других резервуарах, представляют собой клапаны, управляемые поплавком (рис. 47), и другие приспособления—пневматические, гидравлические и электрические; они используются для приведения в действие оборудования, управляемого на расстоянии<sup>1</sup>.

**12. Игольчатые клапаны.** Игольчатые клапаны применяются для регулирования расхода на выпусках из больших резервуаров

<sup>1</sup> См. также S. B. Morris и L. L. Camy, J. A. W. W. A., September, 1946, p. 993.

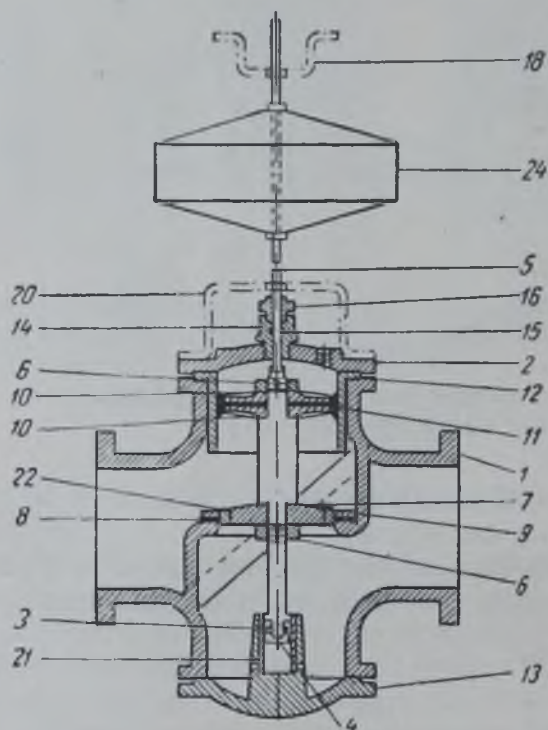
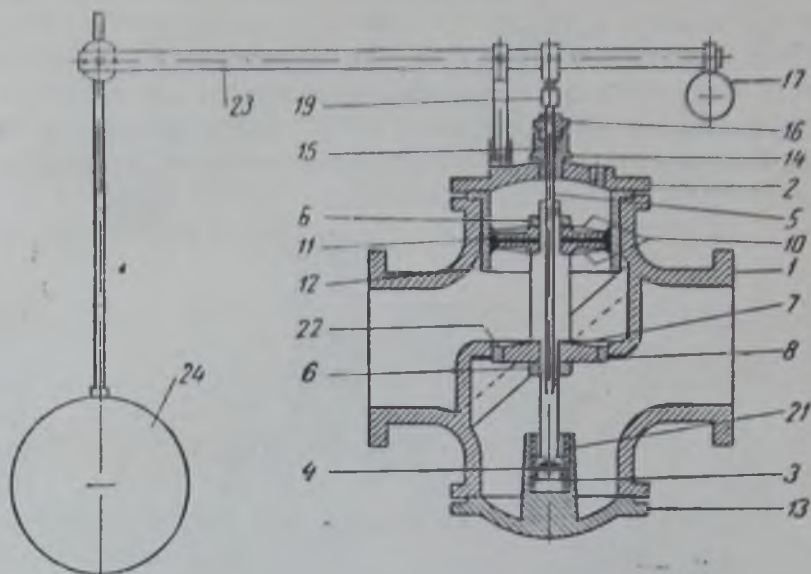


Рис. 47. Поплавковый клапан (по материалам Ross Valve Mfg. Co.)

1 — корпус клапана; 2 — верхняя крышка; 3 — низ направляющего стержня; 4 — нижняя гайка; 5 — стержень; 6 — гайки; 7 — дисковое седло; 8 — кожаная прокладка; 9 — уплотняющее кольцо; 10 — плиты; 11 — основное манжетное уплотнение; 12 — основное кольцо грундбоксы; 13 — нижняя крышка; 14 — сальник; 15 — уплотнение стержня; 16 — крышка сальника; 17 — противовес; 18 — верхний направляющий стержень; 19 — соединительная муфта; 20 — нижний направляющий стержень; 21 — втулка; 22 — кольцо; 23 — рычаг; 24 — поплавок

(рис. 48) [17], а также для точного регулирования расхода в механических регулирующих приспособлениях (рис. 49). Их основное преимущество заключается в точности регулирования

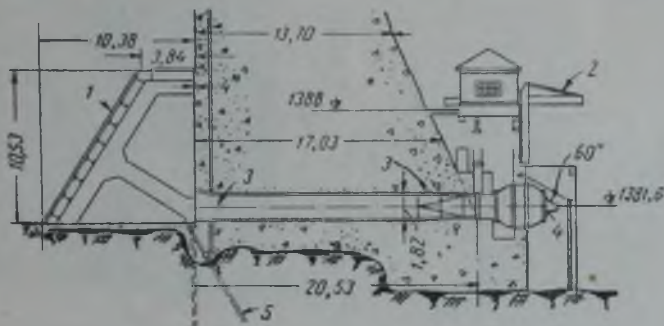


Рис. 48. Установка игольчатого затвора на водоспуске

1 — предохранительная решетка; 2 — поворотный кран; 3 — труба на отметке 1382 м; 4 — игольчатые затворы; 5 — дренажные отверстия

расхода при частично открытой задвижке. Закрытие задвижки со скоростью, могущей вызвать образование волн давления или гидравлический удар, исключается.

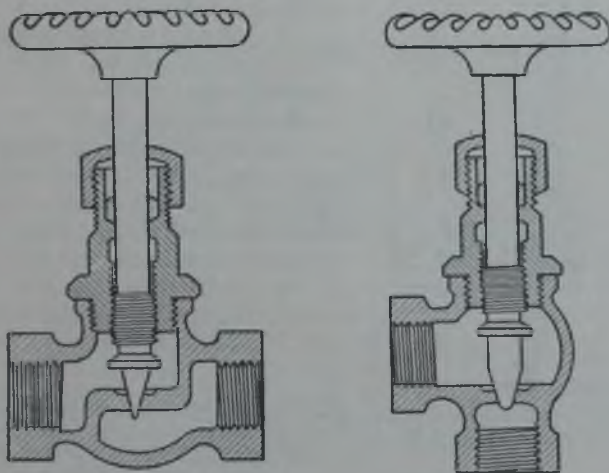


Рис. 49. Игольчатые клапаны

**13. Задвижки для труб, проложенных в грунте, открываемые ключом сверху.** Задвижки этого вида (рис. 50) применяются только на трубах малого диаметра в основном как общие краны на домовых вводах. Их преимущество заключается в том, что они

открываются и закрываются при полном расходе поворотом рукоятки на 90°. Задвижки такого типа с несколькими проходами

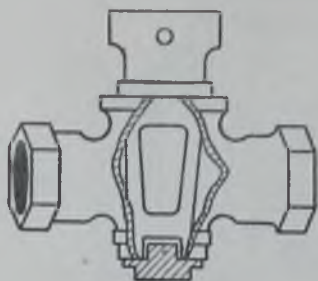


Рис. 50. Задвижка для труб, уложенных в грунт, с управлением сверху



Рис. 51. Четырехпроходной клапан

(рис. 51) применяются при необходимости переключения потока из одного трубопровода в другой. Они могут быть применены на фильтровальных установках, в катионитовых умягчителях и других подобных устройствах.

**14. Водоспускные клапаны.** Водоспускные клапаны (рис. 52) применяются для удаления воды и ила со дна резервуара.

**15. Шибберные затворы и другие виды затворов<sup>1</sup>.** Шибберные затворы применяются главным образом во впускных или выпускных трубопроводах резервуаров, причем давление на затвор обычно бывает только с одной стороны и в одном направлении. Шибберный затвор размерами 1500×1500 мм с гидравлическим подъемным цилиндром показан на рис. 53 [18].

Выдвигающиеся затворы типа, показанного на рис. 54, применяются для быстрого пуска или остановки потока воды в трубах. Они не пригодны для труб диаметром, больше 15—18" (375—450 мм).

Обратный клапан с заслонкой, показанный на рис. 55, приме-

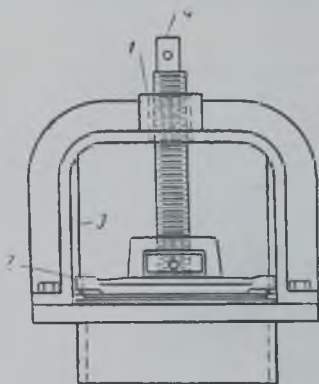


Рис. 52. Клапан для удаления ила и грязи со дна резервуара (по материалам Rodney Hunt Machine Co.)

1 — бронзовая съемная втулка;  
2 — бронзовое седло с кольцевой прокладкой; 3 — направляющие; 4 — стержень из прокатной бронзы с трапециoidalной нарезкой

<sup>1</sup> См. также последний выпуск AWWA Standard Specifications и Specifications C501-41T в J. A. W. A., October, 1941.



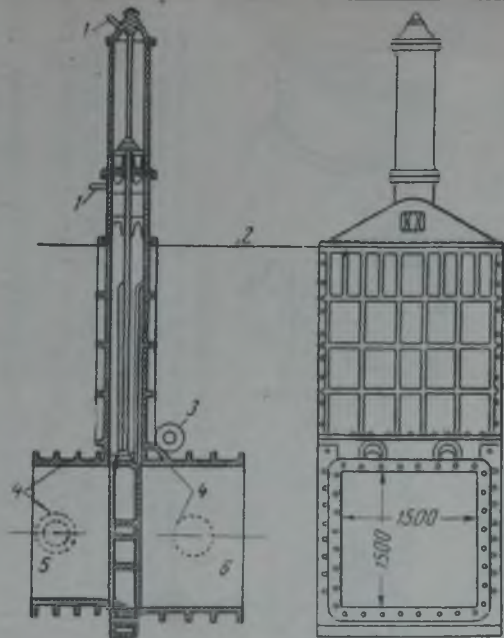


Рис. 53. Шieberный затвор для высокого напора, построенный Бюро рекламаций (из F. L. Boissonnault, Proc. Am. Soc. Civil Engrs., September, 1947, p. 1027)

1 — 1" трубы; 2 — уровень пола; 3 — присоединение для впуска воздуха; 4 — переменное положение обводной трубы; 5 — верхний бьеф; 6 — нижний бьеф

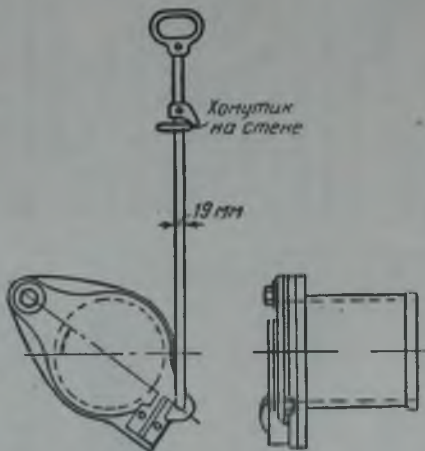


Рис 54. Выдвигающийся затвор

няется на выпускном конце трубы для предотвращения обратного движения воды в трубу.

**16. Дроссельные затворы<sup>1</sup>.** Дроссельные затворы (рис. 56) обычно не пригодны для полного прекращения подачи воды, так как их подвижные части не всегда достаточно плотно пригнаны к седлу.

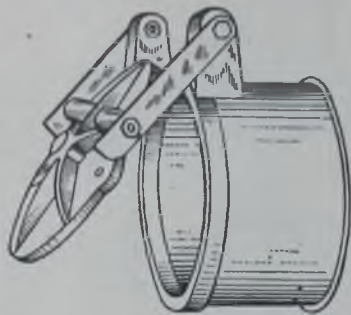


Рис. 55. Обратный клапан с заслонкой

**17. Гидранты<sup>2</sup>.** Стандартные технические условия на пожарные гидранты, включая технические условия на винтовую резьбу для соединения их с пожарным рукавом<sup>3</sup> и на маркировку пожарных гидрантов<sup>4</sup>, периодически утверждаются Американской водостроительной ассоциацией. Стандартный гидрант показан на рис. 57.

Пожарные гидранты обычно изготавливаются из чугуна с бронзовым покрытием.

Часто бывает желательно, чтобы в месте присоединения распределительной системы была установлена запорная задвижка помимо основного затвора, входящего в конструкцию гидранта.

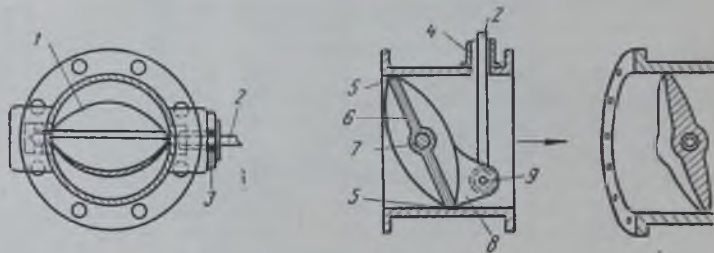


Рис. 56. Дроссельные клапаны

1 — диск в полуоткрытом положении; 2 — рабочий стержень; 3 — сальник; 4 — направляющая и сальник; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — диск; 7 — ось; 8 — управляющий рычаг; 9 — болт

та. В районах с повышенной пожарной опасностью гидранты должны быть рассчитаны на возможность присоединения к ним

<sup>1</sup> См. также Standard Specifications, J. A. W. W. A., September, 1954, p. 943.

<sup>2</sup> См. также J. A. W. W. A., March, 1954, p. 263; May, 1953, p. 539; Water Works Eng., September, 1950, p. 817; October, 1950, p. 927; November, 1950, p. 1009.

<sup>3</sup> J. A. W. W. A., April, 1937.

<sup>4</sup> Там же, May, 1953, p. 550.

не только обычных пожарных рукавов, но и передвижных насосов (рис. 57 и 58).

Для предотвращения замерзания гидранта в районах с холодным климатом должна быть предусмотрена выпускная труба для опорожнения корпуса гидранта во время его бездействия.

Выпускная труба должна быть присоединена к какому-нибудь водосточному каналу, исключая канализационные каналы и общие коллекторы. При отсутствии водосточных каналов спускная труба должна быть выведена в слой дробленой породы или какого-либо другого плотного грунта, в ко-

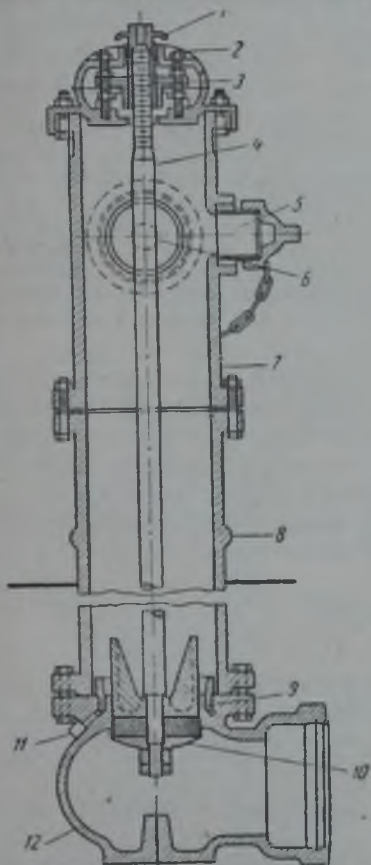
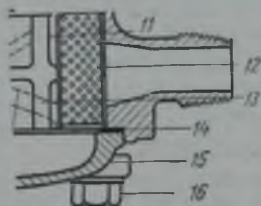


Рис. 57. Стандартный пожарный гидрант (Американской водопроводной ассоциации)

1 — защита от дождя; 2 — крышка; 3 — гайка стержня; 4 — рабочий стержень; 5 — присоединение для шланга диаметром  $2\frac{1}{2}$ " ; 6 — присоединение для пара; 7 — цилиндрический корпус гидранта; 8 — линия поверхности грунта; 9 — уплотнительное кольцо; 10 — клапан; 11 — выпускное отверстие; 12 — основание



(по материалам Badger о.)

11 — главный пинт; 3 — шпильная втулка сальника; дель; 8 — коробка передач; регулирующий вал; 11 — каменный ролик; 14 — резиновая — болты с шестигранной новый диск ли не указан другой материал)

лк дисковых водомеров непри-  
л, если они не снабжены спе-  
обычно выполняется из соста-

тором общий объем пустот в  
3 раза превышает объем воды,  
содержащейся в корпусе гид-  
ранта. Производительность гид-  
рантов выражается формулой,  
приведенной ниже.

Резьба на соединительных частях для присоединения пожарного рукава к гидранту стандартизована. Правлением нацио-



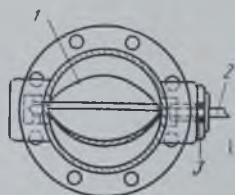
нального объединения страхователей от огня; она установлена в  $7\frac{1}{2}$  ниток на дюйм, диаметром  $3\frac{1}{16}$ ". Применение стандартной резьбы позволяет осуществлять противопожарную защиту соседних городов; если применяется нестандартная резьба, необходимо предусмотреть специальные переходные муфты, которые дают возможность присоединять пожарные рукава при любой резьбе.

Правление национального объединения страхователей от огня требует, чтобы:

«гидранты были рассчитаны на подачу 600 галл/мин (38 л/сек) при потере напора свыше  $0,18 \text{ кг/см}^2$  в гидранте и при общих потерях между уличным трубопроводом и выпускным штуцером не более  $0,35 \text{ кг/см}^2$ ; гидранты должны быть снабжены штуцерами диаметром не менее  $2,5$ " (63 мм) в тех местах, где используются передвижные насосы с всасывающим присоединительным трубопроводом достаточной длины. Конструкция присоединительных устройств должна обеспечивать закрытое состояние гидранта даже в том случае, если корпус его будет поврежден. Уличные присоединительные трубопроводы должны иметь диаметр, не менее  $6$ " (150 мм) и должны быть снабжены задвижками».

Размеры пожарного гидранта выражаются минимальным диаметром кольцевого седла главного запорного клапана. Этот диаметр должен быть равен  $4$ " (100 мм) на два spryska (два спрыска) и  $3$ " (76 мм) на три spryska (три спрыска) диаметром  $2\frac{1}{2}$ ".

Часто бывает желательно, чтобы диаметр гидранта в распределительной системе был равен диаметру основного затвора, и



$$27 d^2 p^{0.5}$$

$\frac{1}{3}$  галл/мин;  
 $d$  в дюймах;  
 диаметр прибора в фунтах на кв.

в распределительных системах обычно видов: с измерением расхода воды (сечение) и с измерением скорости потока.

Рис. 56. Дрос водомеры применяются преимущественно для измерения расхода воды в относительно небольших расходах при экономии воды.

Водомер измеряет расход путем измерения числа заполнений и опорожнений определенного объема.

Скоростные водомеры определяют скорость потока в поперечном сечении определенной площади. Объемные водомеры в зависимости от вида движения подвижных частей могут быть поршневые, ротационные и нутационные [19] дисковые.

<sup>1</sup> См. также P. S. Wilson, Water & Sewage Works, April, 1946, p. R 61.

<sup>2</sup> См. также Water Works Eng., February, 1924, p. 127.

<sup>3</sup> Там же, March, 1954, p. 216.

Нутационный дисковый водомер, показанный на рис. 59,— наиболее распространенный тип водомеров, применяемый на домовых вводах в США. Установлено<sup>1</sup>, что водомер  $d = \frac{5}{8}$ " начинает регистрировать расход при величине его 0,05 галл/мин (0,19 л/мин).

Турбинные водомеры и водомеры Вентури являются примером скоростных водомеров.

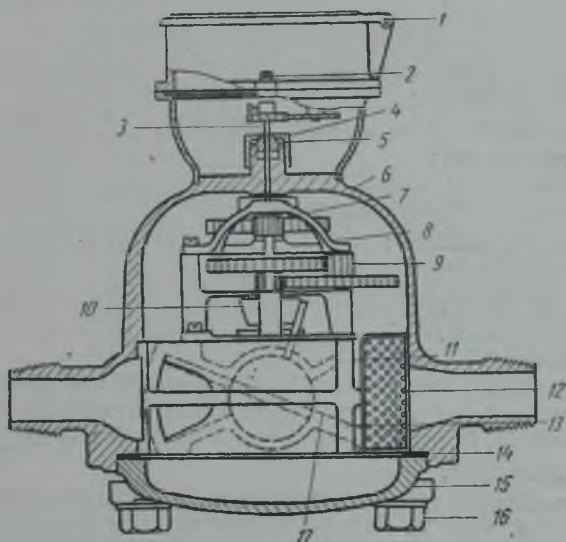


Рис. 59. Дисковый водомер (по материалам Badger Meter Co.)

1 — кожух и крышка; 2 — уплотнительный винт; 3 — шпindel; 4 — крышка сальника; 5 — нажимная втулка сальника; 6 — корпус; 7 — зубчатка и шпindel; 8 — коробка передач; 9 — шестеренки; 10 — резиновый регулирующий вал; 11 — камера; 12 — медная сетка; 13 — упорный ролик; 14 — резиновая прокладка; 15 — чугунное дно; 16 — болты с шестигранной головкой; 17 — резиновый диск  
(все части выполняются из бронзы, если не указан другой материал)

Большинство типов нутационных дисковых водомеров непригодно для измерения горячей воды, если они не снабжены специальной изоляцией, так как диск обычно выполняется из состава, быстро размягчающегося при высокой температуре. Для предотвращения обратного движения горячей воды из сети труб через водомер имеются специальные приспособления в виде комбинирования обратного и предохранительного клапанов или в виде обвода<sup>2</sup>. Водомеры, включающие в себя подвижные части, иногда защищаются от засорения специальным экраном, обычно называемым «сеткой против рыб». Все водомеры должны быть

<sup>1</sup> См. Committee Report, J. A. W. W. A., July, 1946, p. 853.

<sup>2</sup> См. дискуссию в Water Works Eng., November, 1952, p. 1060.

самоочищающегося типа, что необходимо для предотвращения скопления песка и быстрого засорения и изнашивания подвижных частей. Водомеры должны быть сконструированы таким образом, чтобы в случае замерзания могла быть повреждена только какая-нибудь мало значительная и легко заменяемая деталь, что уменьшит напряжения в других частях прибора. Поэтому водомеры некоторых видов изготовлены частично из стекла или хрупкого чугуна [20].

При выборе водомера необходимо учитывать:

- 1) точность измерения и регистрации как при больших, так и при малых расходах;
- 2) производительность при минимальных потерях напора;
- 3) долговечность;
- 4) прочность;
- 5) тщательность выполнения;
- 6) легкость ремонта;
- 7) наличие запасных частей;
- 8) репутацию изготовителя;
- 9) отсутствие шума;
- 10) невысокую стоимость.

Технические условия<sup>1</sup> охватывают различные типы и классы водомеров холодной воды для общего обслуживания водопроводных сооружений. В них указываются материалы и условия изготовления приборов.

Техническими условиями предусматривается, например, следующее.

**Потери напора.** В водомерах диаметром 1" и меньше потеря напора не должна превышать 10 м, а в водомерах большего диаметра — 13,5 м при расходе, указанном в табл. 24.

**Размер** выражается номинальным диаметром впускных и выпускных отверстий или диаметром фланцев водомера.

**Длина** выражается общей длиной между плоскостями впускных и выпускных отверстий или фланцев.

**Защита от замерзания.** Предусматривается специальное приспособление, которое под действием низкой температуры разламывается, предотвращая повреждение прибора.

**Точность измерения.** Водомеры должны регистрировать расход воды с точностью  $\pm 1,5\%$ .

**Давление.** Водомеры должны работать под давлением 10 ат или меньше.

**Шум.** Шум при работе водомеров на полную производительность ограничен (некоторыми техническими условиями) величиной, превышающей на 10 дб величину шума, допускаемого в помещении<sup>2</sup>.

Иногда в технических условиях оговариваются и другие детали: покрытие оловом корпусов и камер со счетным механизмом, применение на наружных болтах колпачковых гаек, испытательное давление до 17,5 ат, окраска стрелок регистрирующего прибора, наличие внутренней щетки для очистки внутренней стороны стекла над циферблатом.

<sup>1</sup> См. J. A. W. W. A., December, 1941; August, 1949 и последующие издания.

<sup>2</sup> Committee Report, J. A. W. W. A., July, 1946, p. 853.

Размеры и производительность водомеров холодной воды  
(тип — измерители расхода)\*

Калибр водомера в дюймах	Безопасная максимальная производительность		Максимальная потеря напора в м	Максимальный учитываемый расход		Нормальные пределы учитываемого расхода		Число ходов поршня или оборотов диска при пропуске	
	в галл/мин	в л/сек		в галл/мин	в л/сек	в галл/мин	в л/сек	1 куб. фута	1 м <sup>3</sup>
5/8	20	1,26	0,95	1/4	0,016	1—20	0,063—1,26	435	15 371
3/4	30	1,89	0,95	1/2	0,032	2—30	0,126—1,89	450	15 901
1	50	3,15	0,95	3/4	0,047	3—50	0,189—3,15	115	4 064
1 1/2	100	6,30	1,26	1 1/2	0,096	5—100	0,315—6,30	50	1 767
2	160	10,08	1,26	2	0,126	8—160	0,504—10,08	30	1 060
3	300	18,90	1,26	4	0,252	16—300	1,008—18,90	15	530
4	500	31,50	1,26	7	0,441	28—500	3,081—63,00	7	251
6	1 000	63,00	1,26	12	0,756	48—1 000	3,034—63,00	3	106

\* Из стандартов Американской водопроводной ассоциации.

Временные технические условия на скоростные водомеры для холодной воды, распространяемые и на турбинные водомеры, опубликованы в J.A.W.W.A., April, 1946.

Водомеры этих типов имеются в продаже калибром от 1 1/2" до 16" производительностью от 6,3 до 780 л/сек при потерях напора не свыше 1,4 ат. Водомеры Вентури, на которые не распространяются данные технические условия, применяются с горловиной диаметром более 48" (1 200 мм).

Временные технические условия на комбинированные водомеры для холодной воды опубликованы в J.A.W.W.A., April, 1946.

Водомеры этого типа представляют собой комбинацию главного водомера (объемного или скоростного) и небольшого водомера.

Диаметр водомера такого типа колеблется от 1 1/2 до 12", пропускная способность от 0,13 до 6,3 л/сек для водомеров  $d=1\frac{1}{2}$ " и от 2 до 195 л/сек для водомеров  $d=12$ " при потерях напора не выше 1,4 ат и пределах точности регистрирования до  $\pm 3\%$ .

Временные технические условия на водомеры холодной воды для противопожарных водопроводов опубликованы в J.A.W.W.A., February, 1947.

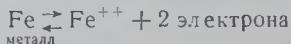
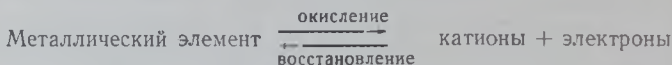
## Глава V

### КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА<sup>1</sup>

#### А. Теория коррозии

1. **Значение коррозии.** Было установлено<sup>2</sup>, что ежегодная стоимость потерь от коррозии чугунных труб составляет около 50 центов на одного потребителя, или 10% валового дохода среднего общественного предприятия.

2. **Гальваническая или биметаллическая коррозия<sup>3</sup>.** Металл, погруженный в воду или в электролитический раствор, каким является коррозионная вода, стремится к растворению. Катионы металлического элемента перемещаются в растворе и откладываются на поверхности отрицательно заряженного проводника. Однако раствор должен быть электролитически нейтральным и поэтому происходит перемещение анионов в направлении к аноду. Кэмп<sup>4</sup> объясняет типовую реакцию в следующем виде.



Кэмп насчитывает 267 реакций коррозии металла вследствие их электролитических потенциалов и приводит примеры количественных вычислений коррозионного действия воды на железо. Если в один и тот же электролит погружены два разнородных металла, происходит обмен ионами между металлами или между металлами и электролитическим раствором.

Скорость коррозии определяется частично степенью электрической разнородности металлов.

<sup>1</sup> См. также Н. Н. Uhlig „Corrosion Handbook“, John Wiley & Sons Inc., New York, 1948; R. Eliassen and J. C. Lamb, III, J. A. W. W. A., December, 1953, p. 1281.

<sup>2</sup> Н. Е. Jordan, J. A. W. W. A., August, 1947, p. 773.

<sup>3</sup> См. также С. W. Gleeson, J. A. W. W. A., July, 1941, p. 1249.

<sup>4</sup> J. R. Camp, J. New Engl. Water Works, Assoc., v. 60, 1946, pp. 188—202.



Относительное положение, в зависимости от величины потенциала некоторых металлов, подверженных биметаллической коррозии, показано в табл. 25. Вышерасположенные металлы являются анодными или корродирующими по отношению к нижерасположенным при токе от анода к катоду.

Скорость коррозии между двумя любыми металлами, подверженными гальванической коррозии, при всех условиях не может быть выражена количественно. Она зависит в большей степени от количества тока, чем от напряжения, а также от некоторых других условий. Например, повышенная температура ускоряет коррозионные реакции вследствие увеличенной ионизации. Газы, выделяющиеся из раствора, диффузия, турбулентность и уменьшенная вязкость — все это способствует повышению интенсивности перемещения ионов. В зависимости от частных условий, взаимное относительное положение анодных и катодных металлов, приведенных в табл. 25, может изменяться.

Не обязательно, чтобы один из двух неоднородных металлов, помещенных в электролитный раствор, корродировал.

Таблица 25

**Металлы и сплавы, подверженные коррозии при гальваническом контакте**

Магний	Сталь	Медь
Магниевые сплавы	Чугун	Бронза
Цинк	Никель	Медь-никель
Алюминий	Свинец-олово	Серебро
Хром	Свинец	Ртуть
Кадмий	Олово	Золото
	Латунь	Платина

Движение тока происходит от металла, указанного в перечне, к какому-либо другому металлу, стоящему ниже него в перечне.

Эффективность коррозии зависит от концентрации электролита в растворе; от характера металлов, участвующих в процессе, в особенности сплавов; от некоторых других факторов, таких, как напряжение в металле, турбулентность, температура и аэрация, а также от наличия защитных покрытий, образуемых металлами, участвующими в процессе. Так, коррозия заклепочной головки является примером гальванического действия, вызываемого электрическим током между двумя частями одного и того же металла, находящимися под разными напряжениями.

Графитная коррозия чугуна<sup>1</sup> является другим примером данного явления, так как она вызывается электрохимическим действием между металлом, действующим как анод, и графитом (содержащимся в металле), действующим как катод.

<sup>1</sup> См. также L. M. Leedom, J. A. W. W. A., December, 1946, p. 1492

**3. Водородная поляризация.** Вода является электролитом, распадающимся на ионы  $H^+$  и  $OH^-$ . Ионы водорода, действующие подобно металлическим аннонам, перемещаются и откладываются на металлической поверхности, погруженной в воду.

Поверхность может быть деполяризована путем реакции между атомами водорода и растворенного кислорода с образованием воды; путем комбинации одних атомов водорода с другими атомами водорода, следствием чего является образование газообразного водорода, или, наконец, путем комбинации атомов водорода с другими веществами, содержащимися в растворе.

Для поддержания электрической нейтральности раствора ионы металла должны переходить в раствор для нейтрализации ионов  $OH^-$ , выделившихся при разложении воды. Это действие и вызывает коррозию металла.

Пленка водорода на поверхности металла образует защитный слой, требующий дополнительного напряжения, для того чтобы металлические ионы могли переходить в раствор.

Необходимое для этого дополнительное напряжение известно под названием «перенапряжение». Это — измеримая величина, изменяемая в зависимости от условий раствора.

**4. Электролиз.** При погружении в электролитический раствор двух неоднородных металлов в образующемся таким образом гальваническом элементе протекает постоянный ток; положительно заряженные ионы от анода поступают к катоду и откладываются на нем, вследствие чего и происходит коррозия анода.

**5. Химическая реакция.** Если металл погружен в кислоту, происходит химическая реакция, при которой выделяется газообразный водород, и образуется соль того металла, который погружен в кислоту.

**6. Прямое окисление.** Металлы, находящиеся в среде, содержащей кислород, в особенности, если они подвергаются нагреву, могут вступать в прямую реакцию непосредственно с кислородом.

Примером может служить образование окалин или магнетита ( $Fe_3O_4$ ) при прокатке стали. Во время коррозии такого типа образуются окиси железа, стремящиеся распространиться по поверхности металла. Отложение ржавчины на металле задерживает дальнейшее действие коррозии.

Присутствие кислорода важно в процессе электролитической коррозии вследствие его активности при деполяризации катода, заключающейся в удалении образовавшегося там водорода. Деполяризация кислорода позволяет коррозии развиваться дальше вследствие биметаллического или гальванического действия. Тот же результат достигается перемешиванием с водой в контакте с металлом, поскольку деполяризация усиливается при удалении водорода из катода.

**7. Биологическое действие.** К бактериям, вызывающим коррозию, в особенности коррозию стали и чугуна, относятся бакте-

рин, уменьшающие количество сульфата («*Vibri desulfuricans*» или «*Microspora desulfuricans*»), бактерии, разъедающие железо (*leptothrix*, *spirophyllum*, *crenothrix* и *socobacilli*), серная бактерия, *thiobacilli* и микроорганизмы, ускоряющие электролитические или ионные реакции.

Существует предположение, что сине-зеленая водоросль *oscillatoria*<sup>1</sup> также является причиной коррозии металла, вызываемая путем удаления естественного защитного слоя водорода.

Бактерия, понижающая содержание сульфата<sup>2</sup>, действует при условии отсутствия кислорода (в анаэробных условиях) и вступает в реакцию с сульфатами в грунте и с органическими соединениями, содержащими серу, образуя сероводород. Бактерия не воздействует непосредственно на металл. Сероводород соединяется с железом и образует соединения серы и железа или соединяется с водой и образует серную или сернистую кислоту, которая вступает в реакцию с металлом; реакция сопровождается выделением водорода, который снова используется в метаболизме бактерий.

Под действием сероводорода ионы железа осаждаются в виде сульфида железа и гидрозаиси железа, вытесняя молекулы железа из металла. В результате концентрация железа в растворе уменьшается одновременно с удалением водорода, вызывающего катодный процесс. Если бы водород из раствора не удалялся, то происходило бы замедление коррозионного процесса.

Предотвращение бактериальной коррозии с помощью катодной защиты<sup>3</sup> объясняется тем, что деполяризация катода задерживается электрическим током.

Важным фактором в данном процессе является концентрация ионов водорода в грунте, поскольку разрушение белков, содержащихся в грунте, под действием бактерий является причиной образования аммиака (слабое основание), а разрушение углеводов под действием бактерий является причиной образования слабых кислот. В результате этих действий грунт становится слабо основным, т. е. повышается его рН. Для того чтобы бактериальная коррозия данного типа продолжала развиваться, рН окружающего грунта должно быть от 6,2 до 7,8.

Восстанавливающее действие бывает наиболее эффективно в анаэробных условиях. Такие условия обычно создаются в заболоченных или влажных органических грунтах, хотя и не обязательно, чтобы они были покрыты водой.

Бактерии *thiobacilli* вызывают коррозию путем окисления серы, содержащейся в грунте или в стьюковых соединениях<sup>4</sup>. Эти

<sup>1</sup> H. C. Myers, J. A. W. W. A., April, 1947, p. 322.

<sup>2</sup> B. L. Staryek, K. M. Wright, American Gas Association, 1945; J. A. W. W. A., October, 1946, p. 1210.

<sup>3</sup> H. H. Logan, Natl. Bur. Standards (U. S.) Circ. C 450; Eng. News Record, May 2, 1947, p. 109.

<sup>4</sup> См. также T. D. Beckwith, J. A. W. W. A., January, 1941, pp. 141, 152.

организмы способствуют образованию серной кислоты, разрушающей металл.

Бактерии, разъедающие железо, поглощают железо, содержащееся в растворенном виде в воде (в зависимости от его концентрации или соединений ионов) в количестве 2 мг/л и больше, необходимом для поддержания их жизнедеятельности.

Поглощенное железо отлагается вследствие действия бактерий в виде гидроокиси железа, образующей вокруг ядра оболочку или бугорчатые наслоения, которые могут содержать небольшой процент сернистого железа. Это действие известно под названием «точечной коррозии». Предполагалось, что коррозия стальной трубы может возникнуть также в результате анаэробного восстановления нитратов<sup>1</sup>.

Электродлитические и ионные реакции могут быть биологически ускорены путем химических изменений, в результате метаболических реакций во время развития бактерий.

К сожалению, бактериальная коррозия не является самоограничивающейся, как некоторые другие виды коррозии, поэтому приходится принимать различные меры по предотвращению развития бактерий.

Сюда относится специальная обработка воды для удаления из нее питательных веществ, поддерживающих развитие бактерий, например, хлорирование и хлораммонизация.

**8. Естественный защитный слой и точечная коррозия.** Иногда в результате реакций, связанных с коррозией, на корродируемом металле образуется защитное покрытие. Одним из самых распространенных видов такого защитного покрытия является слой окиси железа (ржавчина).

При удалении таких покрытий заметно ускоряется процесс коррозии, протекающий под ними.

Точечная коррозия — источник многих затруднений — представляет собой сочетание коррозии и образования защитных наслоений в отдельных местах. Бугорки имеют коническую форму и обычно возникают в результате действия бактерий, развитие которых концентрируется в отдельных местах, причем средняя часть обычно бывает темной и мягкой и содержит сернистое железо. Благоприятные условия для образования точечной коррозии создаются при содержании растворенного железа более 2 мг/л и значительной скорости потока, обеспечивающей питательную среду для развития бактерий.

Если коррозия железа или чугуна вызывается водородной поляризацией, то на металлической поверхности одновременно с образованием ионов  $H^+$  образуется вторая защитная оболочка ионов  $OH^-$ . Ионы  $OH^-$  в сочетании с веществами, содержащимися в растворе, могут образовать защитную щелочную оболочку.

<sup>1</sup> См. также D. H. Caldwell and J. B. Ackerman, J. A. W. W. A., January, 1946, p. 61.



ку, тормозящую дальнейшее развитие коррозии. При небольшом значении рН раствора образование щелочной оболочки задерживается.

К условиям, благоприятствующим удалению защитного слоя, относятся: большая скорость потока, уничтожающая этот слой в результате эрозии, изменение температуры, изменение рН, изменение концентрации растворенных веществ и неспособность металлической поверхности удерживать защитный слой.

**9. Кавитация.** Влияние кавитации аналогично влиянию коррозии, хотя она проявляется скорее в виде эрозии. При внезапных и попеременных возникновениях и исчезновениях глубокого вакуума и при образовании и конденсации водяных паров происходит как бы бомбардировка окружающих поверхностей частичками воды и водяных паров, движущихся с большой скоростью. В результате этого возникает коррозия в виде эрозии<sup>1</sup>.

**10. Селективная коррозия сплавов.** При селективной коррозии сплавов один из металлов растворяется скорее, чем другой. Наиболее распространенным случаем появления селективной коррозии является так называемое обесцинкование латуни.

Предполагают, что латунь растворяется полностью, но ионы меди отлагаются снова; металл становится менее прочным и превращается в пористую массу меди. Это явление пока ограничивается латунью, отличающейся большой плавкостью или содержащей большое количество цинка, вступающего в соединение с водой и особенно горячей водой, содержащей свободные минеральные кислоты или кислые соли при наличии кислорода.

**11. Заземление электроцепей посредством водопроводных труб.** Заземление электроцепей и оборудования посредством водопроводных труб в качестве предупредительной меры разрешается рядом законов<sup>2</sup> при надлежащем выполнении в соответствии с существующими техническими условиями. Оно не представляет никакой опасности для труб, для качества воды или жизни человека.

Одно из ограничений этого способа заземления заключается в том, что посредством водопроводных труб могут быть заземлены только второстепенные распределительные сети переменного тока. Вокруг водомера должен быть предусмотрен электрический шунт.

Противники этого способа заземления указывают, что при нем трубы корродируют вследствие электролиза, рабочие получают электрические удары, вода приобретает привкус или плохой цвет, возможны пожары.

Американский исследовательский комитет по заземлению<sup>2</sup> не нашел ни одного подтверждения всем этим возражениям.

<sup>1</sup> См. также С. Oden'hal J. Am. Soc. Naval Engrs, v. 50, № 2, 1938, p. 231. обобщено в J. A. W. W. A., November, 1940, p. 1964.

<sup>2</sup> См. также J. A. W. W. A., April 1944, p. 383; December, 1945, p. 1298.



Необходимо только, чтобы заземление было выполнено правильно. Тем не менее некоторыми правилами этот способ заземления запрещен<sup>1</sup>.

## Б. Методы борьбы с коррозией

**12. Методы.** Развитие металлической коррозии можно предотвратить путем применения катодной защиты, металла надлежащего состава, различных облицовок и покрытий, периодической проверки среды, окружающей металл, и специальной обработки воды.

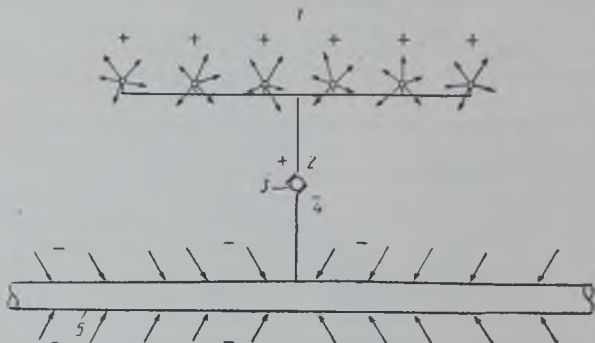


Рис. 60. Электроцепь при катодной защите

1 — аноды; 2 — положительный полюс; 3 — источник постоянного тока; 4 — отрицательный полюс; 5 — трубопровод, являющийся катодом

Методы обработки воды для предотвращения коррозии описываются в главе XVI.

**13. Катодная защита<sup>2</sup>.** Гальваническая и электролитическая коррозия, коррозия от водородной поляризации и до некоторой степени бактериальная коррозия металлов могут быть замедлены путем применения катодной защиты.

Катодная защита осуществляется путем включения металла в электроцепь и подключения его к отрицательному полюсу генератора постоянного тока<sup>3</sup>. При этом положительный полюс подключается к анодам, уложенным в грунт или заземленным каким-либо другим способом. Таким образом электрический потенциал металла снижается по отношению к потенциалу окру-

<sup>1</sup> J. A. W. W. A., April, 1944, p. 383; December, 1945, p. 1298.

<sup>2</sup> Вопрос о катодной защите подробно разбирается в J. A. W. W. A., August, 1948, p. 485; September, 1949, pp. 845—852; November, 1951, p. 883

<sup>3</sup> См. также Н. А. К л и д с е н, J. A. W. W. A., January, 1938, p. 38.

жающей среды и электрический ток из окружающей среды протекает к металлу.

Схема электросоединений при катодной защите стальных труб показана на рис. 60.

Необходимо следить за тем, чтобы катодная защита сооружения, находящегося в грунте, например чугунных труб, не являлась причиной повреждения вблизи расположенных, незащищенных сооружений, могущих превратиться в анод по отношению к защищенной трубе с пониженным потенциалом<sup>1</sup>.

Сущность данного метода защиты от коррозии заключается в том, чтобы создать электрический ток, который должен предотвратить перемещение ионов металла от анода к катоду. Требуемая сила электрического тока колеблется<sup>2,3</sup> от 3,3 до 165 *ма* на 1 *м*<sup>2</sup>. Напряжение зависит от сопротивления цепи и может колебаться от 1,5 до 30 *в*<sup>4</sup>.

Скотт<sup>5</sup> утверждает: «Наиболее желательный материал для электрода — это алюминий, так как продукты его растворения не окрашивают воду. В качестве электродов, предназначенных для более постоянной работы, могут быть использованы платина, графит или сталь с большим содержанием хлора». Было установлено, что катодная защита резервуаров для воды обходится дешевле, чем окраска внутренних стенок резервуаров. Кроме того, в этом случае нет необходимости выводить резервуар из эксплуатации<sup>6</sup>.

Применение замедлителей (ингибиторов) коррозии, т. е. добавка в воду некоторых химикалий, связано с катодной защитой<sup>7</sup> в том смысле, что ингибиторы образуют слегка растворимые ионы, способствующие образованию металлических ионов и задерживающие, таким образом, развитие коррозии. Удовлетворительными являются только магниевые соли, так как соли натрия, хрома и цинка, независимо от того, находится ли металл под катодной защитой или нет, могут привести к интенсификации коррозии в определенных местах, в особенности вдоль водопроводной линии.

**14. Состав металла.** При недостаточной чистоте металла могут образовываться гальванические микроэлементы, которые могут вызвать коррозию. Поэтому металл должен быть однороден. Однородность состава стали достигается применением способа,

<sup>1</sup> См. также F. E. Dolson, J. A.W.W. A., November, 1947, p. 1074.

<sup>2</sup> См. также H. H. Uhlig, Chem. Eng. News, December, 10, 1946, p. 3154.

<sup>3</sup> См. также W. R. Schneider, J. A.W.W. A., March, 1945, p. 245.

<sup>4</sup> См. также G. L. O'Brien, Water Works and Sewerage, July, 1942, p.285.

<sup>5</sup> G. R. Scott, Proc. 11 th Ann. Short Course for Water and Sewage Plant Supts. and Operators, Louisiana State University, 1948, p. 48.

<sup>6</sup> См. также G. W. Knight, J. Penna, Water Works Operators' Assoc., 1940, p. 152; C. K. Wells, J. A.W.W. A., May, 1952, p. 428.

<sup>7</sup> См. также U. R. Evans, Jnd. Eng. Chem., v. 37; 1945, p. 703; R. S. Thornhill, там же p. 706.

известного под названием «спеллеризации». Процесс спеллеризации заключается в обработке горячего металла между тяжелыми валками наподобие пасты, чем и достигается большая однородность металла. Очистка металлов с целью удаления катодных частиц из гальванических элементов<sup>1</sup> успешно повышает сопротивляемость металла коррозии.

**15. Сплавы и антикоррозийные материалы.** Сплавы чугуна или стали с медью, никелем или хромом в большей степени сопротивляются коррозии, чем медь или чугун в чистом виде. Успешно применяется ряд специальных процессов для производства нержавеющей металла; имеются в продаже трубы и фасонные части из таких металлов.

Для транспортирования жидкостей, обладающих высокой коррозионностью, одинаково успешно применяются трубы, защищенные стекловидным или каучуковым покрытием, или покрытием из других облицовочных материалов; трубы, покрытые битумом, тяжелые чугунные трубы, чугунные трубы с внутренней эмалевой облицовкой; химически чистый свинец; глазированная керамика, фибр, асбест и другие материалы. Трубы из металла с высоким содержанием кремнезема хорошо сопротивляются действию кислот, но весьма подвержены действию щелочей, в особенности сбросных щелочных отходов. Трубы и фасонные части из металла с высоким содержанием кремнезема изготавливаются такого же типа и таких же размеров, как стандартные чугунные трубы.

Изготавливаются также фибровые трубы, хорошо выдерживающие действие как кислот, так и щелочей, но недостаточно прочные. Обычно такие трубы используются в качестве сточных от раковин в химических лабораториях и т. п.

**16. Покрытие и облицовка.** Покрытия и облицовки<sup>2</sup> применяются для предотвращения коррозии или загрязнения воды и для увеличения гладкости стенок труб. Они выполняются из битумных или асфальтовых материалов, эмалей, смол, лаков, методом гальванизации (оцинковки) или металлизации, а также<sup>3</sup> из пластических материалов и путем применения красок<sup>4</sup>. Каждое из этих покрытий в известной мере замедляет развитие коррозии. Эффективность покрытия зависит от подготовки металлической или бетонной поверхности, а также материала, из которого выполнено покрытие<sup>5</sup>.

Бурнетт и Мазэн<sup>6</sup> в результате тщательного изучения установили: «Из числа различных видов покрытий, подвергавшихся испытаниям в качестве покрытий для стальных труб, наилучшими

<sup>1</sup> См. также Uhlig, сноски на стр. 97.

<sup>2</sup> См. также H. W. Griswold, Water Works Eng., May, 1949, p. 427.

<sup>3</sup> См. также Water Works Eng., July, 1952, p. 661.

<sup>4</sup> См. также J. R. Baylis, J. A.W.W. A., August, 1953, p. 807.

<sup>5</sup> См. также Paul Weir, Eng. News-Record, May 2, 1946; W. H. Cates, J. A.W.W. A., February, 1953, p. 103.

<sup>6</sup> J. A.W.W. A., October, 1952, p. 893.

оказались фенольные, виниловые, тиоколовые, винилтиоколовые и неопреновые».

**17. Битумные покрытия.** Покрытия из каменноугольной смолы (битумной эмали) широко применяются для защиты стальных труб<sup>1</sup>. Для чугунных труб с 1886 г. применяется покрытие Ангуса Смита. Это покрытие состоит из смеси дегтя в горячем состоянии, бургундского пека, нефти и смолы, в которую погружается труба.

К началу 1931 г. была введена в употребление расплавленная битумная эмаль.

Эмаль в горячем состоянии наносится на внутренние стенки трубы, вращающейся вокруг своей оси<sup>2</sup>. Наружное эмалевое покрытие наносится на трубы при помощи различных специальных приспособлений. В большинстве случаев покрытые стальные трубы обертываются, кроме того, асбестовой ватой, пропитанной битумом, или еще и плотной бумагой. Трубы водопроводных сетей облицовываются на месте битумом электролитическим способом<sup>3</sup>. Испытания асфальтовых защитных покрытий<sup>4</sup> дали следующие результаты:

1) широкий диапазон характеристик покрытий обуславливается главным образом большим разнообразием применяемых материалов;

2) асфальтовые покрытия пропитываются окисляющими веществами в меньшей степени, чем водой;

3) асфальтовые покрытия стандартного качества, как правило, не уступают битумным покрытиям и в некоторых отношениях даже превосходят их.

**18. Смолы, лаки и пластмассы.** Натуральные смолы получают путем выделения их из различных растений. При использовании их в качестве покрытия на металле называют их иногда лаками. Смолы могут быть приготовлены также синтетическим способом при изготовлении схватывающихся и размягчающихся при нагреве покрытий для защиты металлических поверхностей от коррозии. Процесс нанесения таких покрытий включает очистку металлической поверхности и нанесение покрытия из пластической смолы кистью, путем погружения труб или путем набрызгивания. Если лаки и краски применяют вместе с катодной защитой, они должны противостоять действию щелочей, обычно образующихся на катоде. Синтетические схватывающиеся и размягчающиеся при нагревании материалы, пока еще не получившие широкого распространения и находящиеся в стадии их усовершенствования, по-видимому, хорошо схватываются с метал-

<sup>1</sup> См. Specifications, J. A.W.W. A., January, 1940, March, 1950, p. 315, а также G. E. Burnett, J. A.W.W. A., August, 1950, p. 741.

<sup>2</sup> См. также D. Bronson, G. B. McComb, J. A.W.W. A., May, 1943, p. 613; L. E. Goit, J. A.W.W. A., October, 1941, p. 1723.

<sup>3</sup> См. также Eng News-Record, April, 1, 1948, p. 86.

<sup>4</sup> См. также A. H. Benedict, Eng. News-Record, February 26, 1942, p. 49.

лом, и нужно считать, что они будут одним из лучших средств, предотвращающих износ и возникновение коррозии<sup>1</sup>.

**19. Краски.** Краски, применяемые для защиты металлической поверхности от коррозии, должны быть приготовлены из металлического порошка, как правило, цинка или свинца, смешанного с маслом, обычно льняным, которое при высыхании образует тонкую пленку на поверхности металла. Поры в этой пленке заполняются металлическим порошком<sup>2</sup>.

Наиболее желательным порошком является цинк вследствие его электролитического отношения к железу и нетоксичности при растворении в питьевой воде.

Лаки и политура образуют полированную или лакированную поверхность, которая может высохнуть естественным путем или быть подвергнута искусственной сушке. Оба вида покрытия имеют приятный вид, но часто быстро разрушаются.

Алюминиевые и бронзовые краски и в особенности первые являются хорошим защитным покрытием, но обходятся довольно дорого. Их внешний вид достаточно приятен, и поэтому применение их для наружных поверхностей водонапорных резервуаров и т. п. получило широкое распространение. Краска может наноситься на поверхность кистью или набрызгиванием.

**20. Покрытие глазурью.** Глазурь для покрытия металлической поверхности готовится путем опускания расплавленного кремнезема в холодную воду. Получаемый таким образом материал размалывается и перемешивается в глиномялке с глиной и водой. После получения надлежащей консистенции смесь наносится на поверхность металла путем погружения или с помощью кисти. После осушки покрытие, нанесенное на металл, обжигается.

**21. Цинковое покрытие.** Цинковое покрытие может быть выполнено путем очистки металла кислотой (травлением) с последующим погружением его в расплавленный цинк; цинк может быть также нанесен на металл гальваническим способом или способом шерардизации, при котором нагретый металл помещается в барабан, содержащий цинковую пыль. Преимущество этого способа перед другими заключается в том, что после шерардизации резьба на трубе остается пригодной для использования, чего обычно не бывает после оцинковки другими способами.

В результате исследований, проведенных Американским бюро стандартов<sup>3</sup> было установлено, что по прошествии 10-летнего срока потери веса оцинкованной стали составляли от  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{1}{3}$  потерь в весе непокрытой ничем стали. В условиях длительного нахождения под открытым небом необходим для защиты толстый слой цинкового покрытия.

<sup>1</sup> См. также В. Morris and others J. A.W.W. A., September, 1946, p.993.

<sup>2</sup> См. также G. G. Sward, J. Penna, Water Works Operators' Assoc., v. 8, 1936, p. 92.

<sup>3</sup> См. также Logan and Ewing, Natl. Bur. Standards (U. S.) Research Paper 962, 1937.



Слой такой толщины, которая соответствует количеству цинка  $760 \text{ г/м}^2$  поверхности, предотвращает развитие коррозии в течение 10 лет.

**22. Металлическая плакировка.** Плакировка оловом или свинцом выполняется способом, аналогичным горячему погружению при оцинковке, с той лишь разницей, что металл пропускается между вальцами в то время, когда он находится в ванне с жидким оловом или свинцом.

Применение свинца для окраски или покрытия малоприменяемо ввиду возможности растворения его в воде в большем количестве, в особенности в коррозионной воде. Это представляет большую опасность для здоровья потребителей.

Никель и медь наносятся на очищенный металл обычно гальваническим способом.

Покрyтия из никеля, меди и олова иногда применяются для защиты чугуна, но в случае повреждения покрытия между ними и чугуном возникает гальванический ток, что гораздо быстрее приводит к возникновению коррозии чугуна, чем при отсутствии покрытия. Сталь, покрытая медью, образует сплав, отличающийся высокой устойчивостью против коррозии.

**23. Металлизация<sup>1</sup>.** Металлизация заключается в набрызгивании жидкого металла на любую поверхность — металлическую или неметаллическую, которая способна его выдержать.

Покрyтие этим способом является хорошей антикоррозионной защитой, но, так как защитный слой накладывается только на поверхности, он может быть поврежден при деформации металла. Применение металлизации особенно целесообразно для смазываемых поверхностей подшипников, так как в порах наносимого металла удерживаются смазывающие вещества.

**24. Облицовка.** Внутренняя облицовка стенок труб применяется также для защиты их от коррозии или для придания им надлежащей гладкости. В основном облицовка выполняется из двух материалов — битумной эмали или портланд-цемента. Эти виды облицовки могут обеспечить и способствовать поддержанию коэффициента Хагена и Вильямса от 140 до 145.

**25. Цементная облицовка<sup>2</sup>.** Трубы могут быть облицованы цементом на заводе, в полевых условиях или на месте<sup>3</sup>. Относительно простой способ, применимый в полевых условиях и требующий несложного оборудования, заключается в том, что в трубу устанавливают через один из ее концов сердечник. Затем в трубу вводят необходимое количество цементного раствора

<sup>1</sup> См. также J. B. Stevens, J. A. W. W. A., January, 1943, p. 53; D. A. Watson, Water Works Eng., January, 1951, p. 49; J. E. Wakefield, Eng. News-Record, July, 1950, p. 40.

<sup>2</sup> Технические условия J. A. W. W. A., December, 1939, January, 1940. См. также T. F. Wolfe, там же, January, 1946, p. 11; R. C. Kennedy, там же, February, 1953, p. 113.

<sup>3</sup> См. также B. Harkness, Water Works & Sewage, March, 1938, p. 182; G. W. Johns, Eng. News-Record, October 17, 1946, p. 104.

надлежащей консистенции с расчетом на полную облицовку трубы слоем желательной толщины. Сердечник протаскивают через трубу, распределяя, таким образом, цементный раствор по внутренним стенкам. При центробежном способе облицовки, применяемом для труб диаметром до 48" (1 200 мм), трубу, подлежащую облицовке, укладывают в горизонтальном положении и вращают с окружной скоростью около 75 м/мин вокруг ее продольной оси. Цементный раствор распределяется по внутренней поверхности стенок трубы с помощью длинного лотка,двигающегося внутри вращающейся трубы.

После того как требуемое количество цементного раствора будет уложено в трубу, лоток начинает действовать в качестве лопатки, сглаживающей и уплотняющей раствор; окружная скорость вращения трубы возрастает в это время почти до 180 м/мин. Толщина облицовочного слоя составляет минимум 3 мм для труб диаметром до 12" (300 мм) и 6 мм для труб диаметром 30" (750 мм) и больше.

В результате действия центробежной силы, вибрации и разглаживающего действия лопатки получается гладкий и плотный слой покрытия, прочно связанный с поверхностью внутренних стенок трубы и обеспечивающий коэффициент Хазена и Вильямса 140—145<sup>1</sup>. Трубы большого диаметра облицовываются цементным раствором с применением форм. Фасонные части всех размеров облицовываются ручным способом.

Обычно применяется раствор, состоящий из одной части портланд-цемента, одной части песка и необходимого количества воды для получения массы требуемой консистенции. Гидравлические цементные растворы, содержащие портланд-цемент, подверженные действию воды, медленно теряют известь, причем в соответствующих условиях известь заменяется гидроокисью железа. Эта замена не влияет на облицовку из цементного раствора и его способность служить защитой трубы против коррозии.

Трубы можно облицовывать на месте<sup>2</sup> после очистки и специальной подготовки. Облицовка может быть выполнена с применением пластичного раствора, наносимого поршнем [21],двигающимся внутри трубы, или с помощью машин, разбрасывающих раствор по стенкам трубы под действием центробежной силы. К машине прикреплены приспособления для заглаживания раствора на месте.

Облицовка, нанесенная таким образом в полевых условиях, оказывает большое сопротивление коррозии и повышает коэффициент Хазена и Вильямса с 60 до 122—136<sup>3</sup>. Такими машинами на месте облицовываются трубы диаметром до 16" [22].

<sup>1</sup> См. также J. E. Gibson, J. A. W. W. A., v. 16, p. 427; H. Y. Carson, там же, v. 18, 1927, p. 721.

<sup>2</sup> См. также J. E. Gibson, J. A. W. W. A., May 1940, p. 819; Water Works Eng., March, 1950, p. 220; April, 1950, p. 300; H. G. Dresser, там же, April, 1952, p. 343; April 16, 1947, p. 415, там же, April 2, 1947, p. 353; March 19, 1947, p. 299; February 5, 1947, p. 142.

<sup>3</sup> См. также F. H. Rhodes, J. A. W. W. A., January, 1944, p. 64

## Глава VI

### ЗАПАСНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Проектирование резервуаров следует производить в соответствии с «Временной инструкцией по строительству надежных распределительных систем»<sup>1</sup> [23].

**1. Емкость резервуара**<sup>2</sup>. Емкость резервуара для хранения противопожарного запаса должна быть такой, чтобы был обеспечен расход воды на тушение пожара (глава 1, п. 7) в течение 2 час. в небольших населенных пунктах и в течение 10—12 час. в особо крупных населенных пунктах.

Если запасный резервуар является напорным, то запас воды на случай пожара можно определить путем умножения разности между потребностью воды на тушение пожара  $F$  и производительностью пожарных насосов  $P$  на продолжительность пожара  $T$ , т. е.  $(F-P)T$ .

Эмпирическая формула Мак-Дональда<sup>3</sup> для определения емкости резервуара имеет вид

$$R = aD + bD + \frac{10}{24} (D + F - S), \quad (\text{VI.1})$$

где  $R$  — требуемая емкость резервуара для хозяйственных нужд, для тушения пожаров (дополнительно к подаваемой пожарными насосами) и для дополнительной подачи воды в период работы насосов с неполной нагрузкой [24] в млн. галл.;

$D$  — средняя потребность в воде для хозяйственных нужд в месяце с максимальным расходом, в млн. галл. в сутки;

$F$  — противопожарный расход воды в млн. галл. в сутки;

$S$  — производительность насосов в млн. галл. в сутки;

<sup>1</sup> См. J. A. W. W. A., June, 1942, p. 917.

<sup>2</sup> См. также R. C. Kennedy, J. A. W. W. A., November, 1940, p. 1819; D. H. Maxwell, там же, July, 1947, p. 644; L. R. Howson, Water Works Eng., November, 1949, p. 1007; J. E. Kiker, Jr., Public Works, May, 1953, p. 74.

<sup>3</sup> McDonald, J. A. W. W. A., July, 1947, p. 637.

$a$  и  $b$  — коэффициенты, меньше единицы ( $a$  — порядка  $1/5$ ,  $b$  —  $1/10$ ).

В некоторых системах может оказаться более экономичным устройство водонапорного резервуара только как регулирующего и запасного для пожарных целей, располагаемого на уровне земли. При такой системе во время пожара вода из запасного резервуара должна перекачиваться насосами в распределительную

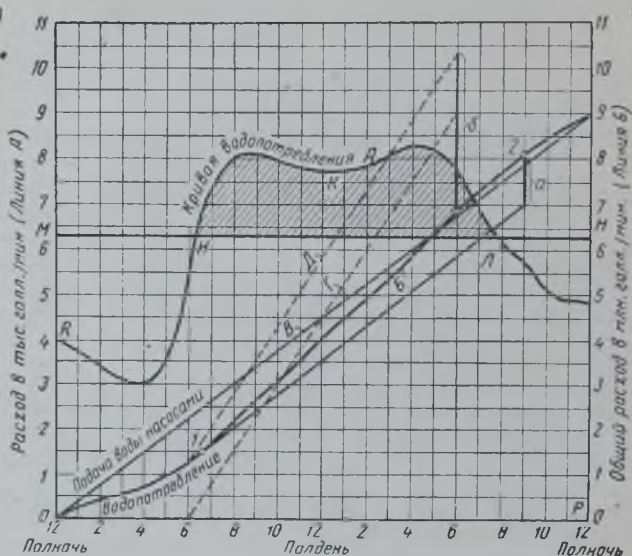


Рис. 61. Графическое определение емкости регулирующего резервуара

систему. Запасный резервуар должен содержаться в постоянной готовности для немедленного использования содержащейся в нем воды. Вода из него ни в какой мере не должна расходоваться для каких-либо других целей.

**2. Определение емкости регулирующего резервуара.** Способ определения емкости регулирующего резервуара можно продемонстрировать на примере [25]. Пусть (рис. 61) кривая потребления воды в районе изображена на графике линией  $A$ , где по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат (слева) — расход воды в тыс. галл./мин. Пользуясь этой кривой, построим интегральную кривую водопотребления  $B$ . Отрезки по оси абсцисс представляют время, а по оси ординат (справа) — общий расход воды за все истекшее время. Соединим концы линии  $B$  прямой линией  $B$ . Эта линия изобразит интегральную кривую подачи воды насоса-

ми в резервуар, а ее наклон характеризует производительность насосов. Проведем теперь две линии параллельно линии  $B$  и касательные к линии  $B$  в точках 1 и 2 [26]. Вертикальное расстояние  $a$  между этими двумя линиями, измеряемое на правой шкале, и есть требуемая емкость регулирующего резервуара. В приведенном примере она составляет 1,2 млн. галл.

Пользуясь этим графиком, можно определить состояние резервуара в любое время.

Например, в точке 1 резервуар наполнен, в точке 2 он пустой. В любой другой точке резервуар наполняется, если наклон линии  $B$  превышает наклон линии  $B$ , и опорожняется, если наклон линии  $B$  превышает наклон линии  $B$ .

Количество воды в единицу времени, поступающей из резервуара или в резервуар, определяется разницей наклонов линий  $B$  и  $B$  в данное время.

Если насосы работают с постоянной производительностью в течение некоторого отрезка времени, в часы максимального водопотребления, то они должны подать за это время суточный расход. В этом случае необходимая емкость резервуара и производительность насосов могут быть определены следующим образом.

Допустим, что насосы работают с 6 час. утра до 6 час. вечера. Проведем прямую линию  $\Gamma$  от точки, соответствующей 6 час. утра с нулевым расходом в этой точке, до точки, соответствующей 6 час. вечера с суммарным расходом, поданным насосами за это время. Наклон линии  $\Gamma$  характеризует производительность насосов. В данном случае она составляет 18 млн. галл. в сутки.

Проведем линию  $D$  параллельно линии  $\Gamma$  и пересекающую линию  $B$  в точке, соответствующей 6 час. утра. Вертикальное расстояние от точки пересечения линии  $D$  с ординатой, соответствующей 6 час. вечера, до точки пересечения с линией  $B$  определяет требуемую емкость резервуара, отсчитываемую по правой шкале. В данном случае емкость резервуара определяется вертикальной линией  $b$  и составляет около 3,3 млн. галл.

Другой способ определения необходимой емкости регулирующего резервуара заключается в том, что проводят горизонтальную линию, показывающую среднюю производительность насосов, необходимую для подачи требуемого количества воды. На графике (рис. 61) это — линия  $MN$ . Заштрихованная площадь над линией  $MN$ , т. е. площадь  $ИКЛ$ , пересчитанная в единицы объема, дает требуемую емкость регулирующего резервуара. В данном случае она составляет 1,2 млн. галл. Экономичность использования резервуара частично характеризуется этими линиями. Без резервуара максимальная требуемая производительность насосов должна быть около 8 300 галл./мин. При наличии же резервуара емкостью, равной объему, указанному в заштрихованной части графика, требуется производительность насосов только 6 300 галл./мин. Емкость резервуара и производительность насо-



сов устанавливаются таким образом, чтобы они работали со средней производительностью в течение дня с максимальным потреблением воды. В дни с меньшим потреблением воды должны выключаться из работы один или более насосных агрегатов. Более желательно принимать такую емкость резервуара и производительность насосов, чтобы можно было подавать воду в день среднего водопотребления при работе насосов со средней производительностью, имея в резерве один или более насосных агрегатов, а в часы пик в дни максимального водопотребления работать с перегрузкой насосов. Общеизвестно, что экономически не оправдывается обеспечение достаточной производительности насосов и емкости резервуара, исходя из случая пиковой потребности в воде, которая бывает один раз в 3—5 лет и продолжается только несколько часов.

**3. Типы резервуаров.** Резервуары, расположенные на уровне земли, могут быть земляные, облицованные или необлицованные, из каменной кладки или железобетонные. Кроме того, они могут быть открытыми или закрытыми.

Поверхностный водоем, образованный путем сооружения дамбы поперек долины, может рассматриваться как регулирующий резервуар, если он предназначен главным образом для этой цели, а не как водохранилище, в котором собирается вода с площади стока.

**4. Облицовка земляных резервуаров.** Основным материалом, применяющимся для облицовки резервуаров, является бетон, но применяются также кирпич, асфальт, бетон по земляному пропитанному минеральным маслом основанию<sup>1</sup> и бутовая кладка. Для обеспечения водонепроницаемости в новых резервуарах и для прекращения утечки в старых резервуарах<sup>2</sup> примешивается бентонитовая глина в насыпь.

В днище укладывается бетон плитами  $1,8 \times 1,8$  м. Боковые откосы могут также покрываться бетонными блоками или длинными плитами шириной около 1,8 м и длиной, равной высоте боковых откосов. Стыки между блоками или длинными плитами для увеличения водонепроницаемости могут быть заполнены битумным составом или деревянными прокладками. Применяется также укладка между плитами толя. Благодаря наличию швов уменьшается возможность появления трещин вследствие усадки, температурных деформаций или неравномерной осадки. Толщина днища в дюймах должна равняться около  $\frac{4}{10}$  глубины в футах, но не менее 4 дюймам. У основания облицовки откоса следует предусмотреть упор для предохранения откоса от сползания.

В качестве облицовки для защиты насыпи от размыва может быть применена каменная мостовая или каменная наброска.

<sup>1</sup> См. также D. A. Blackburn, J. A. W. W. A., May, 1941, p. 876.

<sup>2</sup> См. также Water and Sewage, v 81, 1943, p. 14.

Лучшие результаты дает облицовка из железобетона. Арматура предотвращает появление трещин вследствие гидростатического давления и способствует лучшему распределению усадоч-

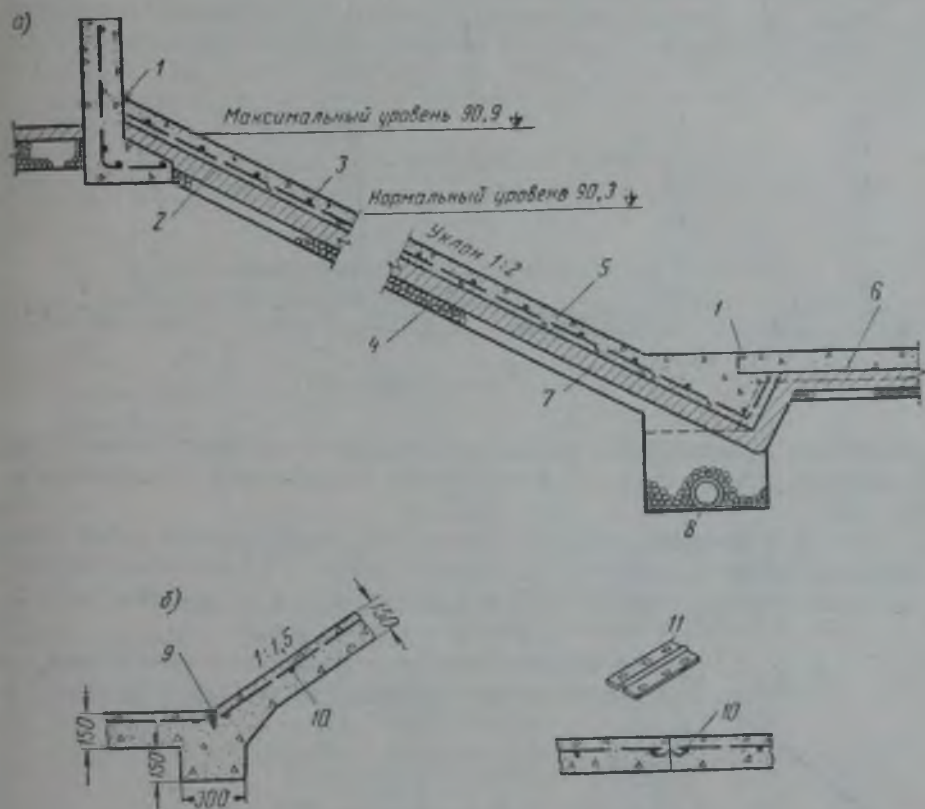


Рис. 62. Детали облицовки стенок резервуара

а — из J. W. Trahern, J. A. W. W. A., February, 1952, p. 161; б — резервуар Станфорд Хейтс в Сан-Франциско, шт. Калифорния (из J. A. W. W. A., Vol. 15, p. 119); 1 — эластичный стык; 2 — водонепроницаемая мембрана наклонной стенки толщиной 1,6 мм; 3 — арматура; 4 — щебеночный дренажный слой; 5 — бетон; 6 — водонепроницаемая мембрана дна толщиной 6 мм; 7 — битуминозная подготовка; 8 — дренаж из керамических труб диаметром 150 мм с открытыми стыками; 9 — заполнение асфальтом; 10 — арматура диаметром  $\frac{1}{2}$ " через рез 40 см; 11 — свинцовый стык

ных трещин. Обычно считается достаточной величина площади стальной арматуры 0,25% от площади бетона.

Для резервуара Сенека (рис. 62) была с успехом применена водонепроницаемая облицовка со слоем асбестового волокна, склеенного асфальтовой эмульсией<sup>1</sup>. Существенной особенностью этой облицовки является хорошее свойство дренирования.

<sup>1</sup> См. также J. W. Trahern, J. A. W. W. A., February, 1952, p. 161.

5. Стены резервуаров. Стены резервуаров из каменной кладки обычно выполняются из бетона и могут быть гравитационного (массивного), консольного, контрфорсного, вертикально-балочного или цилиндрического типов. Стена с консольным основанием



Рис. 63. Стены резервуара

обычно не экономична при высоте земляной засыпки более 6 м. Некоторые типы стен с консольным основанием показаны на рис. 63.

Стена с контрфорсами по существу представляет собой неразрезную плиту, опертую на вертикальные контрфорсы, расположенные на расстоянии 2—3 м в зависимости от высоты стены.

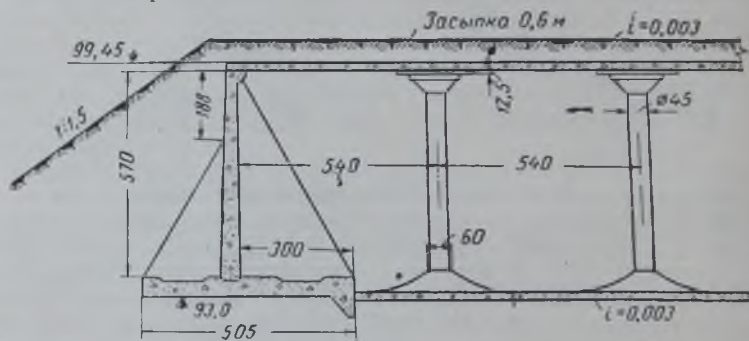


Рис. 64. Резервуар в Сейнт-Пол, штат Миннесота, емкостью 68 000 м<sup>3</sup>

Если контрфорсы рассчитаны на давление грунта, то толщина их должна составлять около  $\frac{1}{20}$  высоты стены. Стены с контрфорсами являются более экономичными при высоте их более 6 м. На рис. 64 изображена деталь стены с контрфорсами резервуара, построенного в Сейнт-Пол, штата Миннесота.

<sup>1</sup> См. также G. P. Manning, Water and Water Eng., December, 1945, p. 639; H. R. Lupton, J. Inst. Water Engrs. March, 1953, p. 87.

Деталь наклонной стены с контрфорсами резервуара в Сейнт-Пол, штат Миннесота, изображена на рис. 65. Распор от арочного покрытия передается на контрфорсы через армированную балку наверху.

В стенах балочного типа элементы стены рассчитываются как вертикальные балки, заделанные в днище и покрытие. Стены такого типа экономичны, и можно их рекомендовать, если местные условия позволяют.

В круглых или кольцеобразных резервуарах — стены цилиндрические. В таких стенах напряжение вследствие изгиба от-

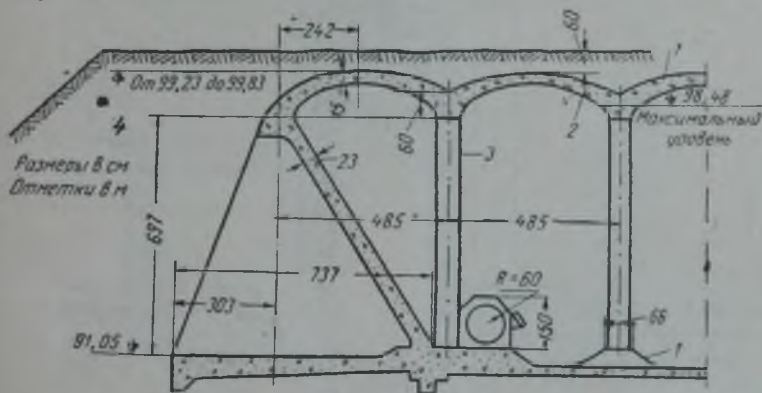


Рис. 65. Резервуар Дейл Стрит в Сейнт-Пол, штат Миннесота, емкостью 114 000 м<sup>3</sup>

1 — парабола; 2 — полуэллипс; 3 — квадратная колонна сечением 50 x 50 см; 4 — засыпка грунтом, содержащим 35 — 60% глины

сутствует. Для резервуаров небольшой емкости этот тип стен является самым экономичным. Недостатками данного типа стен являются высокая стоимость опалубки и менее экономичное использование земельного участка. На рис. 66 изображены детали резервуара, сооруженного из предварительно напряженного железобетона<sup>1</sup>. Стены с консольным основанием или с контрфорсами также могут иметь в плане круглую форму.

В резервуарах предусматриваются перегородки для создания циркуляции воды или возможности выключения части резервуара для очистки или ремонта. Необходимо, чтобы перегородки были рассчитаны на давление воды с каждой стороны на случай опорожнения отдельных частей резервуара.

**6. Днища резервуаров.** Днища резервуаров из каменной кладки могут быть трех типов:

<sup>1</sup> См. также J. M. Glace, Water Works & Sewerage March, 1945, p. 83; J. M. Crom, Proc. Am. Soc. Civil Eng., October, 1950; Trans. Am. Soc. Civil Engrs., 1952, p. 89.



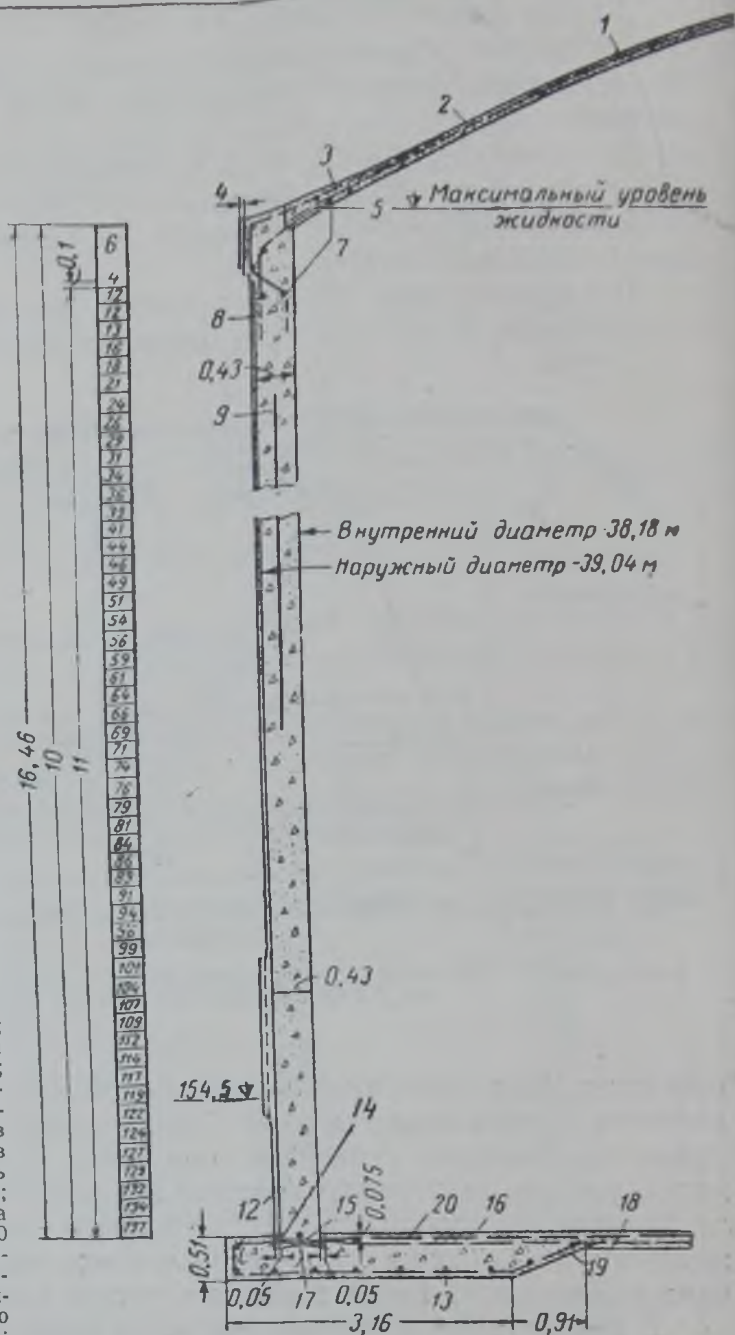


Рис. 66. Вертикальный разрез стены напряженного железобетонного резервуара (по материалам Preload Construction Corp.)

1 — купольное покрытие толщиной 68 мм из торкрет-бетона с уклоном  $\frac{1}{6}$ ; 2 — арматурная сетка (10×10 см) из проволоки № 4; 3 — радиальные стержни диаметром  $\frac{1}{2}$ " через 30 см; 4 — 50-мм слой торкрет-бетона; 5 — радиальные стержни диаметром  $\frac{1}{2}$ " через 30 см; 6 — 182 стержня в кольце купола; 7 — девять стержней диаметром  $\frac{1}{2}$ "; 8 — слой торкрет-бетона толщиной 19 мм; 9 — 100 вертикальных предварительно напряженных стержней типа 1А, расположенных на расстоянии около 121 см между осями;

10 — расчетная нагрузка 7 000 кг/см<sup>2</sup> на горизонтальную предварительно напряженную арматуру (начальное напряжение в стенке и в кольце купола 9 800 кг/см<sup>2</sup> при 37 кг арматурной проволоки на 1 м<sup>2</sup> у дна и 0,018 кг вверху стенки и в кольце 146 кг на 1 пог. м кольца); 11 — число горизонтальных напряженных колец арматуры на 1 фут по вертикали; диаметр проволоки до напряжения 4,1 мм, после напряжения — 3,6 мм; 12 — торкрет-бетон толщиной 38 мм; 13 — 14 кольцевых стержней диаметром  $\frac{1}{2}$ "; 14 — добавка «Etbeco» 6,8 кг на 1 мешок цемента; два слоя по проволоочной обмотке; 15 — гибкий шов; 16 — днище толщиной 20 см; 17 — двойная резиновая цилиндрическая прокладка; 18 — арматура диаметром  $\frac{1}{2}$ " через 20 см; 19 — арматура диаметром  $\frac{1}{2}$ " через 10 см длиной 6 м; 20 — арматура диаметром  $\frac{1}{2}$ " через 30 см длиной 4 м

Марка бетона стенки 315, днища и основания 210, торкрет-бетона — 315  
Паз шва в месте соединения стенки с днищем покрывается под лопатку 3-мм  
слоем асбестоцемента Elastiquim на пластическом материале Borret



1) из квадратных блоков, как описано в разделе о земляных резервуарах;

2) в виде армированной плиты;

3) в виде крестовых сводов.

Днище первого типа применяется в тех случаях, когда нет оснований опасаться гидростатического давления снизу или выпучивания грунта. В других случаях необходимо устройство днища в виде армированной плиты или крестовых сводов. Плиты или крестовые своды служат для передачи гидростатического давления на колонны. Водонепроницаемость достигается, как и в зем-

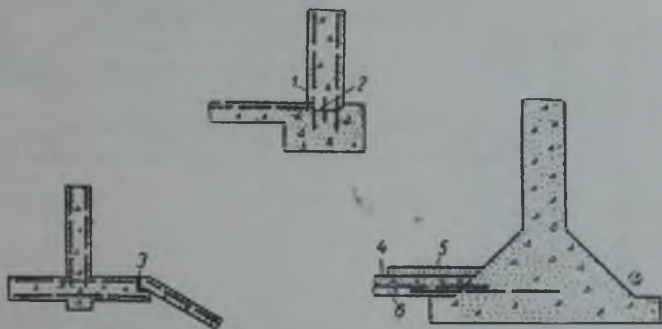


Рис. 67. Примеры стыков между бетонным днищем и стенками резервуара

1 — окраска битумом; 2 — медная прокладка; 3 — шов, залитый бетоном; 4 — гидроизоляция толщиной 6 мм; 5 — поверхностный слой толщиной 100 мм; 6 — бетонное основание толщиной 200 мм

ляных резервуарах, заделкой швов деревянными прокладками обычно из кипариса или битумными составами.

Серьезную задачу представляет собой соединение между днищем и стенками, а также между днищем и колоннами. В месте соединения обычно необходим рабочий шов во избежание появления трещин, вследствие неравномерной осадки<sup>1</sup>. На рис. 67 показаны детали соединений днища и стенок.

**7. Покрытия резервуаров.** Покрытия резервуаров устраивают из дерева или железобетона. Покрытие из железобетона может быть выполнено балочным, безбалочным, в виде свода-оболочки или в виде крестового свода<sup>2</sup>. На рис. 68 показан разрез резервуара с неармированным бетонным покрытием, построенного в Спрингфилде (Вермонт).

Деревянные покрытия наиболее дешевые, но они недолговечны и стоимость их содержания высока. Хорошим кровельным материалом является негоряемый гонт. Ввиду того, что покрытия

<sup>1</sup> См. также L. A. Hoes'good, J. A. W. W. A., June, 1954, p. 527.

<sup>2</sup> О расчете крестовых сводов см. Trans. Am. Soc., Civil Engrs., v. 86, 1923, p. 180.

устраивают обычно плоскими, затрудняется использование обычных кровельных материалов.

Железобетонные покрытия обычно рассчитываются на устраиваемую над ними земляную засыпку толщиной 0,6—0,9 м. Назначением засыпки является защита воды от нагревания и замерзания. Кроме того, по архитектурным соображениям ее применяют для соответствия окружающему ландшафту. Расчетной нагрузкой обычно принимается нагрузка земли плюс 100 фунт/кв. фут

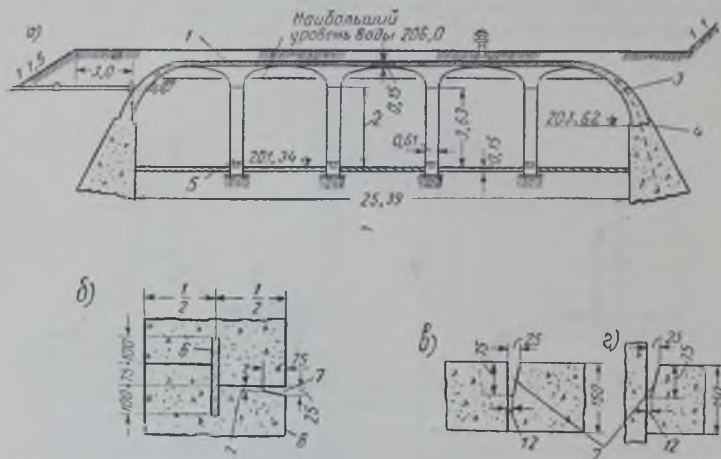


Рис. 68. Неармированное бетонное покрытие резервуара в Спрингфильде, Вермонт (из Eng. News-Record, Sept. 23, 1943, p. 105)

*а* — разрез; *б* — типовая деталь шва в вертикальной стене; *в* — типовый шов в длину; *г* — типовый шов между стенкой или колонной и дном; *1* — засыпка грунтом толщиной от 0,5 до 0,7 м со слоем суглинки внизу толщиной 0,2 м; *2* — колонны — бетонируются без перерыва на полную высоту; *3* — вертикальный конструктивный шов с деревянной прокладкой; *4* — гнезда для шпорок 50×150 мм; *5* — гнезда для шпорок 200×200×300 мм; *6* — хорошо покрытая битумом деревянная прокладка толщиной 12 мм; *7* — из всех швов должно быть удалено цементное молоко, а швы залиты водонепроницаемым раствором; *8* — внутренняя поверхность

(488 кг/м<sup>2</sup>.) Выше на рис. 64 изображено покрытие в виде плоской плиты. На рис. 68 показан разрез резервуара с крестовым сводом.

## Б. Водонапорные башни

**8. Типы водонапорных башен.** Существуют два типа водонапорных башен — водонапорные колонны (Standpipes) и собственно водонапорные башни [28]. Водонапорная колонна обычно представляет собой стальную или железобетонную цилиндрическую оболочку, с плоским дном, опирающуюся на фундамент. Водонапорная башня представляет собой резервуар, расположенный на опоре в виде башни. Желательно, чтобы площадь гори-

зонтального поперечного сечения водонапорной башни или резервуара была относительно большой для получения максимального запаса воды при минимальных изменениях давления в распределительной системе, обуславливающих наполнение и опорожнение резервуара. Существует экономичная глубина резервуара, при которой получается наиболее выгодное соотношение между общей стоимостью резервуара и стоимостью перекачки воды. Эта глубина для стальных резервуаров обычно равна 6,0—7,5 м.

**9. Водонапорные колонны (Standpipes).** Полезной емкостью водонапорной колонны является емкость ее выше того уровня, ко-

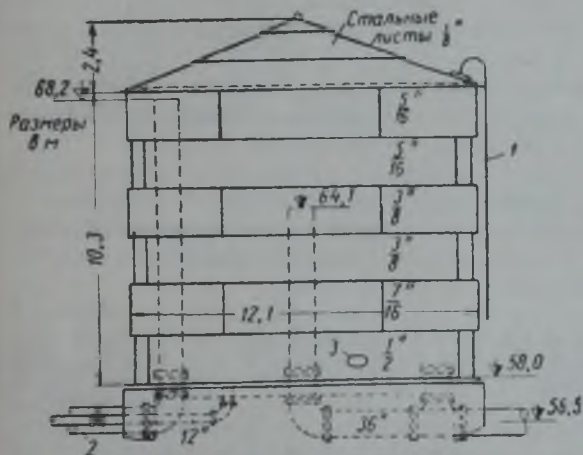


Рис. 69. Детали стальной водонапорной колонны емкостью 1135 м<sup>3</sup>

1 — лестница; 2 — переливная диаметром 30"; 3 — люк



Рис. 70. Стальная водонапорная колонна в Мэдисоне, штат Висконсин (по материалам Chicago Bridge and Iron Co.)

торый необходим для получения требуемого давления в распределительной сети. Объем воды в резервуаре ниже этого уровня служит как дополнительный запас низкого давления, который может быть использован путем перекачки его вспомогательными насосами, или как пожарный запас, используемый пожарными насосами. Часто представляется возможным расположить водонапорную колонну на возвышенности, что позволяет использовать объем резервуара полностью. На рис. 69, 70 показаны две стальные водонапорные колонны.

Фундаменты для водонапорной колонны устраивают из каменной кладки круглые, восьмиугольные или квадратные в плане.

**10. Материалы для водонапорных колонн.** Водонапорные колонны обычно строятся из стали или железобетона. Применение стали предпочтительнее, так как опыт показал, что трудно обеспечить водонепроницаемость железобетонных водонапорных колонн при высоте их более 15 м. Бетон обладает преимуществом

по сравнению со сталью в отношении меньшей стоимости эксплуатации (если резервуар хорошо построен). Железобетонная колонна лучше также в отношении архитектурного оформления. При большой высоте стальные водонапорные колонны имеют преимущество по сравнению с железобетонными, так как они прочнее.

В стальных колоннах легче ликвидировать утечки. Первоначальная стоимость стальных колонн меньше, чем железобетонных, несмотря на большую прочность их конструкции. Стальные водонапорные колонны быстро разрушаются, если их не окрашивать регулярно или не защищать от коррозии каким-либо другим способом. Для резервуара и покрытия рекомендуется сталь, содержащая не менее 0,2% меди.

**11. Стальные водонапорные колонны.** Стальные водонапорные колонны<sup>1</sup> обычно сооружаются в виде вертикальных цилиндров. Вся конструкция опирается на бетонный фундамент. Конструктивный расчет должен отвечать требованиям стандартных технических условий Американской водопроводной ассоциации.

Ниже приводятся некоторые выдержки из временных стандартных технических условий на стальные водонапорные колонны и резервуары для воды<sup>2</sup>.

**Нагрузки.** Постоянная нагрузка — вес всей конструкции и оборудования для стали 490 фунт/фут<sup>3</sup> (7852 кг/м<sup>3</sup>) и для бетона 144 фунт/фут<sup>3</sup> (2305 кг/м<sup>3</sup>). Временная нагрузка — вес всей жидкости в резервуаре. Снеговая нагрузка — 25 фунт/фут<sup>2</sup> (122 кг/м<sup>2</sup>) горизонтальной проекции поверхностей, имеющих уклон менее 30° от горизонтали. Ветровая нагрузка — 30 фунт/фут<sup>2</sup> (146,5 кг/м<sup>2</sup>) вертикальной поверхности, 18 фунт/фут<sup>2</sup> (88 кг/м<sup>2</sup>) вертикальной проекции выступающих и цилиндрических поверхностей и 15 фунт/фут<sup>2</sup> (73 кг/м<sup>2</sup>) вертикальной проекции поверхностей конических и двойной кривизны. Сейсмическая нагрузка устанавливается заказчиком. Балкон и лестницы — 1000 фунт. (453 кг) в любой точке балкона, 500 фунт. (227 кг) в любой точке покрытия и 350 фунт. (159 кг) в любой секция лестницы.

**Напряжения.** Конструктивная сталь при работе на растяжение — 15 000 фунт/дюйм<sup>2</sup> (1 050 кг/см<sup>2</sup>), на сжатие — 15 000 фунт/дюйм<sup>2</sup> (1 050 кг/см<sup>2</sup>), на срез (ребра) 9 750 фунт/дюйм<sup>2</sup> (682 кг/см<sup>2</sup>).

**Покрытия.** Все резервуары, в которых хранится питьевая вода, должны иметь покрытие.

#### Емкость водонапорных колонн и резервуаров

в тыс. галлонов	50	60	75	100	150	200	250
в куб. метрах	190	225	285	380	510	760	950
	300	400	500	750	1 000	1 500	2 000
	1 140	1 515	1 900	2 840	3 800	5 675	7 570
	2 500	3 000	4 000				
	9 465	11 360	15 140				

<sup>1</sup> См. также Standard Specifications, J. A. W. W. A., April, 1949, p. 357. Об окраске, см. August, 1952, p. 747.

<sup>2</sup> См. J. A. W. W. A., December, 1940.



Емкость баков водонапорных башен

$\frac{5}{20}$	$\frac{10}{40}$	$\frac{15}{60}$	$\frac{20}{75}$	$\frac{25}{95}$	$\frac{30}{115}$	$\frac{40}{150}$	$\frac{50}{190}$
$\frac{60}{230}$	$\frac{75}{290}$	$\frac{100}{380}$	$\frac{150}{510}$	$\frac{200}{700}$	$\frac{250}{950}$	$\frac{300}{1140}$	
$\frac{400}{1515}$	$\frac{500}{1900}$	$\frac{750}{2840}$	$\frac{1000}{3800}$	$\frac{1500}{5675}$	$\frac{2000}{7570}$	$\frac{2500}{9465}$	

Высота оболочки водонапорных колонн и баков водонапорных башен от 20 до 50 футов (6—15 м) через интервалы в 2 фута (0,6 м); от 50 до 100 футов (15—30 м) через интервалы в 5 футов (1,5 м); от 100 до 200 футов (30—60 м) через интервалы в 10 футов (3 м).

Диаметры водонапорных колонн и баков водонапорных башен равны высоте [29].

Водонапорная колонна имеет нижнюю плиту обычно плоскую или иногда криволинейную; плита опирается непосредственно на бетонное основание и приклепывается или приваривается к нижнему кольцу вертикальной оболочки, как указано на рис. 69.

Оборудование водонапорной колонны трубопроводами показано на рис. 69. Верхний конец объединенной выпускной и впускной трубы располагается на отметке нижнего уровня полезной емкости резервуара. Конец этой трубы должен располагаться на расстоянии 0,6—0,9 м выше верха спускной трубы во избежание попадания отложившегося осадка из резервуара в распределительную систему. Спускная труба должна оканчиваться в самой нижней точке резервуара, чтобы можно было спустить всю воду из него. Диаметр переливной трубы должен быть рассчитан таким образом, чтобы ее пропускная способность была равна предполагаемой максимальной подаче воды в резервуар насосами.

В технических условиях указывается: в первом кольце оболочки резервуара должен быть устроен смотровой люк — круглый диаметром 24" (600 мм) или эллиптической формы минимальных размеров 18×24" (460×600 мм).

**12. Цилиндрические железобетонные резервуары.** Появление трещин в боковых стенах цилиндрического железобетонного резервуара может быть предотвращено путем напряжения горизонтальной арматуры или путем совместного использования напряжений в горизонтальной арматуре и изгибающих напряжений, возникающих благодаря наличию консоли. Действие консоли наиболее резко выражается при жестком соединении вертикальных стен и дна резервуара. Были предприняты попытки уменьшить до минимума напряжения путем применения эластичной герметической прокладки между днищем и стенами, как показано на рис. 71. В этом случае днище устраивается независимо от боковых стен, которые могут деформироваться без появления тре-



щин в месте соединения дна со стенами. Нижняя часть шва заполняется смесью песка, цемента и железной окалины [30]. Полная герметичность достигается, как известно, применением прокладки из чистого каучука. В стенах резервуаров из предварительно напряженного железобетона<sup>1</sup> путем натяжения стальных полос вокруг резервуаров создается постоянное напряжение сжатия, даже когда резервуар наполнен водой. После того как произведено предварительное напряжение, стальные полосы покрываются бетоном. Преимуществами такой конструкции являются:

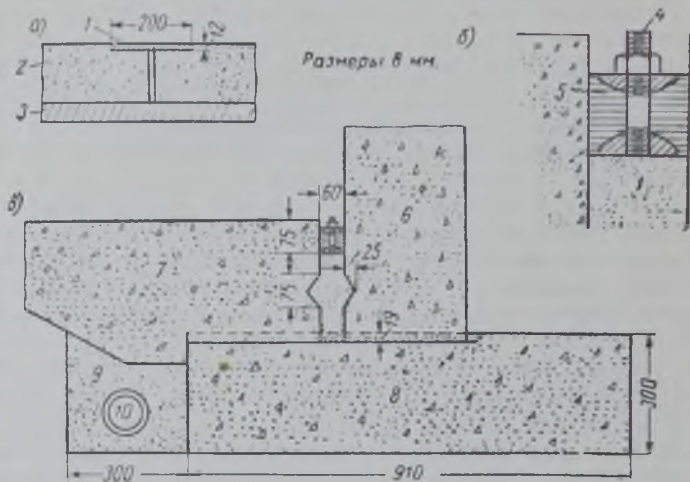


Рис. 71. Эластичный шов между дном и стеной железобетонной водонапорной колонны

*а* — вертикальный конструктивный шов; *б* — деталь изоляции из резины; *в* — дренаж и эластичный шов; *1* — заполнение раствором; *2* — стена; *3* — торкрет; *4* — бронзовые штыри 12×75 мм на расстоянии 150 мм; *5* — заполнение 38×50 мм из чистой гумированной резины; *6* — стена; *7* — дно; *8* — основание; *9* — пористый бетон; *10* — керамическая труба диаметром 100 мм

- 1) водонепроницаемость;
- 2) незначительные эксплуатационные расходы;
- 3) возможность архитектурного оформления;
- 4) легкость устройства резервуара;
- 5) простое и точное определение напряжений.

К недостаткам относятся относительно высокая первоначальная стоимость и огромный вес, если резервуар используется в качестве бака водонапорной башни.

Мейер<sup>2</sup> указывает, что экономичная высота резервуара колеблется в пределах от 4,8 до 13,5 м, в зависимости от того, жела-

<sup>1</sup> См. также R. C. Kennedy, J. A. W. W. A., January, 1945, p. 76; H. L. Thompson and L. Gross, там же, 1950, p. 544.

<sup>2</sup> E. V. Meier, J. A. W. W. A., May, 1952, p. 442.

тельно ли уменьшить количество бетона или стали и применяется ли обычная конструкция или конструкция из предварительно напряженного железобетона. Конструкция из предварительно напряженного железобетона дает экономию бетона до 35,5% в небольших резервуарах и до 62% стали в больших резервуарах. Стоимость резервуара на единицу емкости остается приблизительно постоянной при емкости до 4 000 м<sup>3</sup>. Затем в пределах емкостей от 4 000 до 12 000 м<sup>3</sup> в обычных конструкциях она резко возрастает и продолжает возрастать до емкости 23 000 м<sup>3</sup>, но процент возрастания постепенно уменьшается.

Различают два типа железобетонных водонапорных колонн: 1) со стальными хомутами необходимой по расчету площади поперечного сечения (предназначенными для восприятия растягивающих усилий от внутреннего давления воды), втапливаемыми в цилиндрическую железобетонную стену; 2) со стальными полосами, имеющими площадь поперечного сечения, достаточную для восприятия растягивающих усилий от внутреннего давления воды и первоначального натяжения, укладываемыми с наружной стороны железобетонной стены и натягиваемыми настолько, чтобы вызвать сжимающие напряжения в бетоне. Наружная поверхность этого резервуара покрывается торкрет-бетоном. Практика проектирования резервуаров первого типа показала, что он является неудовлетворительным. Его трудно сделать водонепроницаемым, так как вследствие температурных деформаций и напряжений, не предусмотренных расчетом, на нем появляются трещины. Серьезные разрушения возможны в результате действия мороза.

Хорошие результаты дают резервуары, сооруженные по второму способу.

Основными преимуществами железобетонных резервуаров являются короткие сроки их возведения и возможность недорогого архитектурного оформления. Однако водонепроницаемость, появление выцветов и растрескивание вследствие действия мороза могут свести на нет все их преимущества.

**13. Водонапорные башни.** Название водонапорная башня обычно относится ко всей конструкции, состоящей из резервуара и вертикальной (стояковой) трубы (riser pipe). Стоимость водонапорных башен на единицу полезной емкости обычно меньше стоимости водонапорных колонн в тех случаях, когда требования в отношении давления заставляют поднимать резервуар на значительную высоту над поверхностью земли.

При устройстве высоких башен и других конструкций вблизи линий воздушного сообщения требуются специальные меры предосторожности, указанные в правилах администрации Гражданского воздушного флота<sup>1</sup>, в частности, в отношении предупредительного освещения.

<sup>1</sup> См. также V. T. Guccione, Water Works Eng., March, 1950, p. 208, 246.

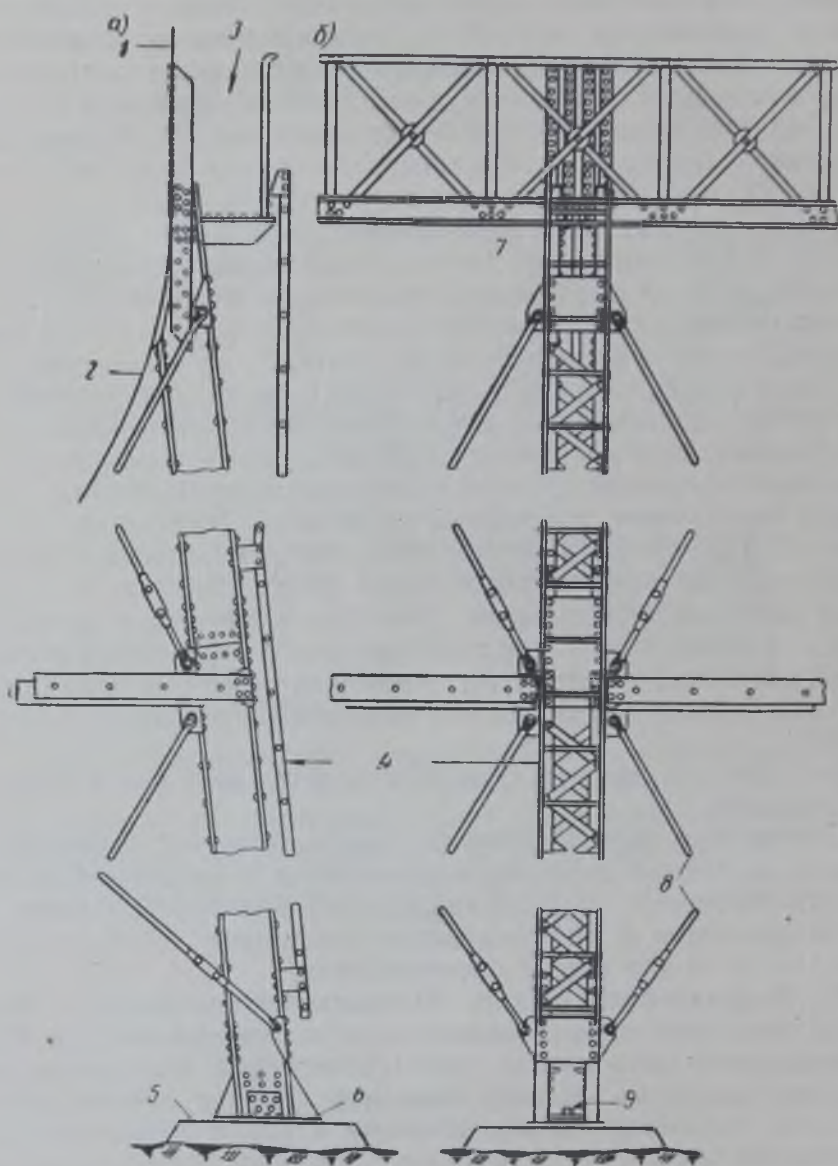


Рис. 72. Типовые детали опорной конструкции водонапорной башни (по материалам Chicago Bridge and Iron Co.)

*a* — вид сбоку; *б* — вид в направлении оси башни; 1 — оболочка резервуара; 2 — днище резервуара; 3 — балок; 4 — лестница (только у одной опоры); 5 — основание; 6 — башмак в основании опоры; 7 — соединение опоры с резервуаром; 8 — диагональные связи; 9 — анкерный болт

14. Стальные водонапорные башни<sup>1</sup>. Стандартные технические условия на водонапорные башни, водонапорные колонны и резервуары разработаны Американской водонапорной ассоциацией<sup>2</sup>. Рекомендуемые правила повторной окраски стальных водонапорных башен и запасных резервуаров с замечаниями, относящимися к ремонту, подготовлены той же организацией<sup>3</sup>. С 1931 г. предпочтение отдается сварным конструкциям резервуаров.



Рис. 73. Водонапорная башня в Кингс Маунтин, Северная Каролина (по материалам Chicago Bridge and Iron Co.)



Рис. 74. Резервуар с эллипсоидальным днищем Сулливан, штат Иллинойс (по материалам Chicago Bridge and Iron Co.)



Рис. 75. Резервуар с радиально-коническим днищем в Форт Лаудердейл, штат Флорида (по материалам Chicago Bridge and Iron Co.)

Типовые детали и общий вид клепаной стальной башни показаны на рис. 72 и 73. Трубчатые опоры (колонны), как показано на рис. 74 и 75, применяются не только из-за конструктивных соображений, но и до некоторой степени потому, что башни в этом случае имеют приятный внешний вид.

Идеальной формой днища, при которой затрачивается минимальное количество стали, является такая форма, при которой в стали возникают только растягивающие напряжения. Однако практически изготовление резервуаров такой формы затруднительно, а колебание уровня воды в резервуаре делает расчет та-

<sup>1</sup> См. также D. A. Leach, J. A. W. W. A., July, 1947, p. 651.

<sup>2</sup> См. J. A. W. W. A., April, p. 357, August, 1952, p. 745.

<sup>3</sup> См. там же, October, 1948, p. 1099, November, 1949, p. 1046; August, 1952, p. 746.



кой конструкции невозможным. В плоских и конических днищах возникают изгибающие напряжения<sup>1</sup>. Полусферическая, эллипсоидальная и радиально-коническая формы днища наиболее приближаются к идеальной форме и применяются поэтому наиболее часто. Последние два типа днищ дают возможность увеличивать диаметр при одной и той же емкости по сравнению с резервуаром с полусферическим днищем, благодаря чему колебания напора могут быть сокращены до минимума.

Стандартные резервуары с полусферическим днищем имеют максимальную емкость 3 800 м<sup>3</sup>, а резервуары с эллипсоидальным днищем — 7 600 м<sup>3</sup>. Наибольший диаметр резервуаров первого типа составляет около 15 м и второго типа — около 27 м. Сварные резервуары двойной эллипсоидальной формы со сварными трубчатыми колоннами проектируются емкостью от 190 до 1 900 м<sup>3</sup>\*. Максуэлл<sup>2</sup> указывает, что общая стоимость водонапорных стальных башен высотой 30 м колеблется (по данным 1947 г.) приблизительно от 25 000 до 135 000 долларов за 0,1 млн. галл. (380 м<sup>3</sup>) емкости.

Полусферические днища широко применяются для небольших резервуаров, но высота подъема воды в такие резервуары может быть больше, чем при других типах днища.

Вертикальная труба при резервуаре с эллипсоидальным днищем используется для поддержания части веса резервуара и воды. Днище резервуара работает как диафрагма, что исключает необходимость в температурном шве между резервуаром и трубой. На рис. 74 изображен типовой резервуар с эллипсоидальным днищем.

Применение радиально-конических днищ дает возможность устраивать резервуары большой емкости с небольшими пределами колебания высоты подъема воды. На рис. 75 изображен резервуар с радиально-коническим дном и трубчатыми стойками.

Стальные резервуары должны быть защищены от коррозии. Покраска и катодная защита<sup>3</sup> являются наиболее часто применяемыми методами защиты.

**15. Оборудование стальных резервуаров. Покрытия.** Покрытие резервуара водонапорной башни или покрытие водонапорной колонны может рассматриваться как оборудование, так как оно выполняет только роль крыши.

В большинстве случаев покрытие обеспечивает жесткость верхней части резервуара и применяется для защиты резервуара от температурных колебаний и загрязнения воды птицами и летающими насекомыми.

<sup>1</sup> См. также С. А. Lee, Eng. News-Record, May, 4, 1944, p. 100.

\* См. также Leach сноска на стр. 119.

<sup>2</sup> См. D. H. Maxwell, J. A. W. W. A., July, 1947, p. 614.

<sup>3</sup> См. также С. К. Wells, J. A. W. W. A., May, 1952, p. 428.



**Радиальные тяги.** Радиальные тяги представляют собой стержни, идущие из центра резервуара в горизонтальной плоскости и прикрепленные к стенкам резервуара. Тяги могут применяться для обеспечения круглой формы резервуара во время строительства, в качестве опоры для подмостей и оборудования, например труб, и для предотвращения падения оболочки, когда резервуар находится без воды. Тяги не рекомендуется применять в районах с холодным климатом, так как они будут мешать подъему и опусканию ледяного покрова, что может вызвать разрушение резервуара.

**Лестницы.** Лестницы предусматриваются на водонапорных колоннах и водонапорных башнях для доступа с высоты 3,6 м над поверхностью земли до верха резервуара. На резервуарах без покрытия лестница должна иметь высоту на 0,9 м выше оболочки. На резервуарах без покрытия обычно применяются вращающиеся лестницы, закрепленные вверху. Нижний конец лестниц оборудован таким образом, чтобы

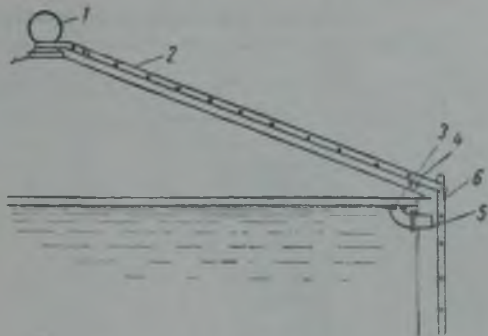


Рис. 76. Вращающаяся лестница для водонапорного резервуара

1 — чугунный шпир диаметром 300 мм; 2 — лестница, полностью вращающаяся вокруг кровли; 3 — перелив диаметром 75 мм; 4 — направляющий ролик; 5 — на конце может быть сделана нарезка для присоединения переливной трубы; 6 — вращающаяся лестница

можно было прикреплять люльку для доступа ко всем частям оболочки. Вращающаяся лестница на водонапорной башне может быть устроена от верха до балкона, в этом случае неподвижная лестница устраивается от балкона до верха. На рис. 76 показано общее устройство вращающейся лестницы.

**Балкон и перила.** Ширина балкона должна быть не менее 60 см для резервуаров диаметром 4,5 м и не менее 75 см для резервуаров больших диаметров. Толщина металлического настила пола должна быть не менее 5 мм; в полу должны быть устроены отверстия для стока воды. Высота перил должна быть не менее 0,9 м. Перила устраиваются таким образом, чтобы придать жесткость наружной балке.

**Вертикальная (стояковая) труба.** В резервуарах с сферическим днищем вертикальная труба обычно изготавливается из чугуна и может иметь или не иметь утеплительное покрытие. Между резервуаром и вертикальной трубой необходим компенсационный шов.

В резервуарах с эллипсоидальным днищем вертикальная труба изготавливается из стали и служит опорой для части резервуа-

ра. Диаметр вертикальной трубы обычно принимают 0,9—1,2 м для резервуаров емкостью до 570 м<sup>3</sup> и 1,5—3 м для резервуаров большей емкости. Температурный шов и утеплительное покрытие не устраиваются. Вода к вертикальной трубе подводится подающей трубой, как показано на рис. 77 пунктирными линиями. Для удаления осадка, который собирается в нижней части вертикальной трубы, служит промывной клапан. Рекомендуемые диаметры подающих труб указаны в табл. 26.

Таблица 26

Диаметры подающих труб для водонапорных башен\*

Емкость резервуара в галл. (м <sup>3</sup> )	Диаметр подающих труб в дюймах (мм)
100 000 (380)	6 (150)
200 000 (760)	8 (200)
500 000 (1 900)	8 (200)
1 000 000 (3 800)	12 (300)
2 000 000 (7 600)	две по 12 (300) или одна 16 (400)
5 000 000 (19 000)	две по 16 (400) или одна 20 (500)

\* Из G. M. Booth, Practical Studies of Distribution Systems, J. A. W. W. A., September, 1944, pp. 257, 963.

*Указатели уровня воды.* Такие приспособления усовершенствовались от простого поплавкового устройства для непосредственного наблюдения, как показано на рис. 78, до телефона и механизмов, управляемых по радио на расстоянии, которые передают показания уровня воды на любое расстояние непрерывно или по требованию<sup>1</sup>.

*Водослив.* Во избежание переполнения резервуара устраивается водослив в виде переливной трубы, проходящей через стену резервуара, или в виде желоба, идущего снаружи резервуара. Один из способов показан на рис. 76.

**16. Краски для стальных резервуаров<sup>2</sup>.** Для стальных резер-

<sup>1</sup> См. также Eng. and Contr., v. 44, 1915, p. 360; Power, v. 38, 1913, p. 883; C. F. Wertz, Water Works & Sewerage, May, 1946, p. 182; E. A. Colman and E. L. Hamilton, Civil Eng., June, 1944, p. 257.

<sup>2</sup> См. также Leach, сноска на стр. 119

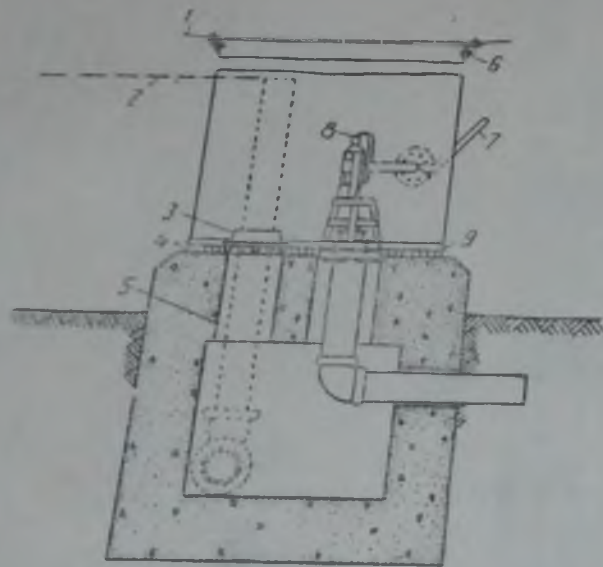


Рис. 77. Деталь основания вертикальной трубы водонапорного резервуара с эллипсоидальным днищем

1 — днище резервуара; 2 — часть стояка ниже этой линии используется как отстойник; 3 — соединение на свинце; 4 — раствор; 5 — подающая труба; 6 — присоединение вертикальной трубы к днищу бака при помощи заклепок; 7 — гаечный ключ (съёмный); 8 — смывной клапан диаметром 6"; 9 — низ вертикальной трубы, опирающейся непосредственно на фундамент

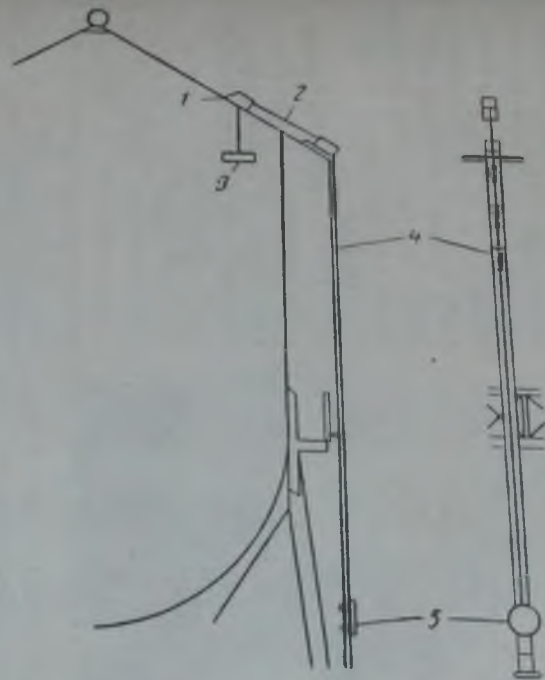


Рис. 78. Указатель уровня воды в водонапорном резервуаре

1 — блок диаметром 150 мм, заключенный в кожух, вращающийся на латуинной оси; 2 — оцинкованная труба с заключенной в нее бронзовой проволокой диаметром 6 мм; 3 — поплавок диаметром 600 мм из листового металла толщиной 4,8 мм, полностью сварной, покрытый битумом в два слоя; 4 — 175-мм направляющий стальной желоб; 5 — стальной сигнальный диск

вуаров рекомендуется самообновляющаяся белая краска и алюминисевые краски. Краски обоих этих видов придают приятный внешний вид и более долговечны, чем старые стандартные темно-



Рис. 79. Водонапорная башня на Гейтоф Хевн Семетри. Запроектирована Чарльзом Уэлфордом Ливиттом и его сыном (по материалам Chicago Bridge and Iron Co.)

зеленая и черно-графитовая. Самообновляющаяся краска имеет приятный оттенок и в яркий солнечный день предохраняет воду в резервуаре от нагревания лучше, чем другие краски.

**17. Архитектурное оформление.** Старинные стальные резервуары обычно имеют неприятный вид, вследствие чего использование их в некоторых местах оказывается невозможным. В результате изучения этого вопроса были созданы современные формы стальных резервуаров, показанные на рис. 70, 73, 74, 75 и 79.

Тщательно отделанные детали башен, балконов и общие линии и пропорции приятны для глаза. В местах, где стальной резервуар не гармонирует с окружающей местностью, его можно облицевать каменной кладкой или отделать каким-либо другим способом.

## Глава VII

### РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ [31]

**1. Формула Хазена—Вильямса.** Для определения скорости движения воды в закрытых трубопроводах и в особенности в трубах круглого сечения существует ряд формул. Однако наиболее широкое применение в практике водоснабжения получила формула Хазена—Вильямса<sup>1</sup>, которая вначале была выражена следующим образом

$$V = CR^{0,63} S^{0,54} 0,001^{-0,04}, \quad (\text{VII.1})$$

где  $V$  — скорость движения воды;

$R$  — гидравлический радиус, равный  $D/4$  для труб круглого сечения;

$D$  — диаметр трубы круглого сечения;

$S$  — гидравлический уклон;

$C$  — коэффициент, зависящий от шероховатости стенок трубы и ее срока службы<sup>2</sup>, а также от единиц измерения.

Формула эта может быть также выражена следующим образом

$$H_1 = \frac{3,030}{C^{1,85} D^{4,75}}; \quad (\text{VII.2})$$

$$H_1 = K_1 \frac{V^{1,85}}{D^{4,75}}, \quad (\text{VII.3})$$

где  $H_1$  — потеря напора в футах на 1 000 футов трубы.

Другие значения выражены в футах и секундах.

Значения величин  $C$  и  $K_1$  даны в табл. 27.

Решение по формуле Хазена—Вильямса упрощается применением счетных линеек и номограмм. На рис. 80 приведена номограмма, составленная при  $C = 100$ , специально для труб диаметром 8".

<sup>1</sup> G. S. Williams and Allen Hazen, Hydraulic Tables, 1st. ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1905, with subsequent editions; см. так же J. New Engl. Water Works Assoc. September, 1935, Julian Hinds, J. A. W. W. A., November, 1946, p. 1226.

<sup>2</sup> См. также P. Lamoont, J. Inst. Water Engrs. February, 1954, p. 53.



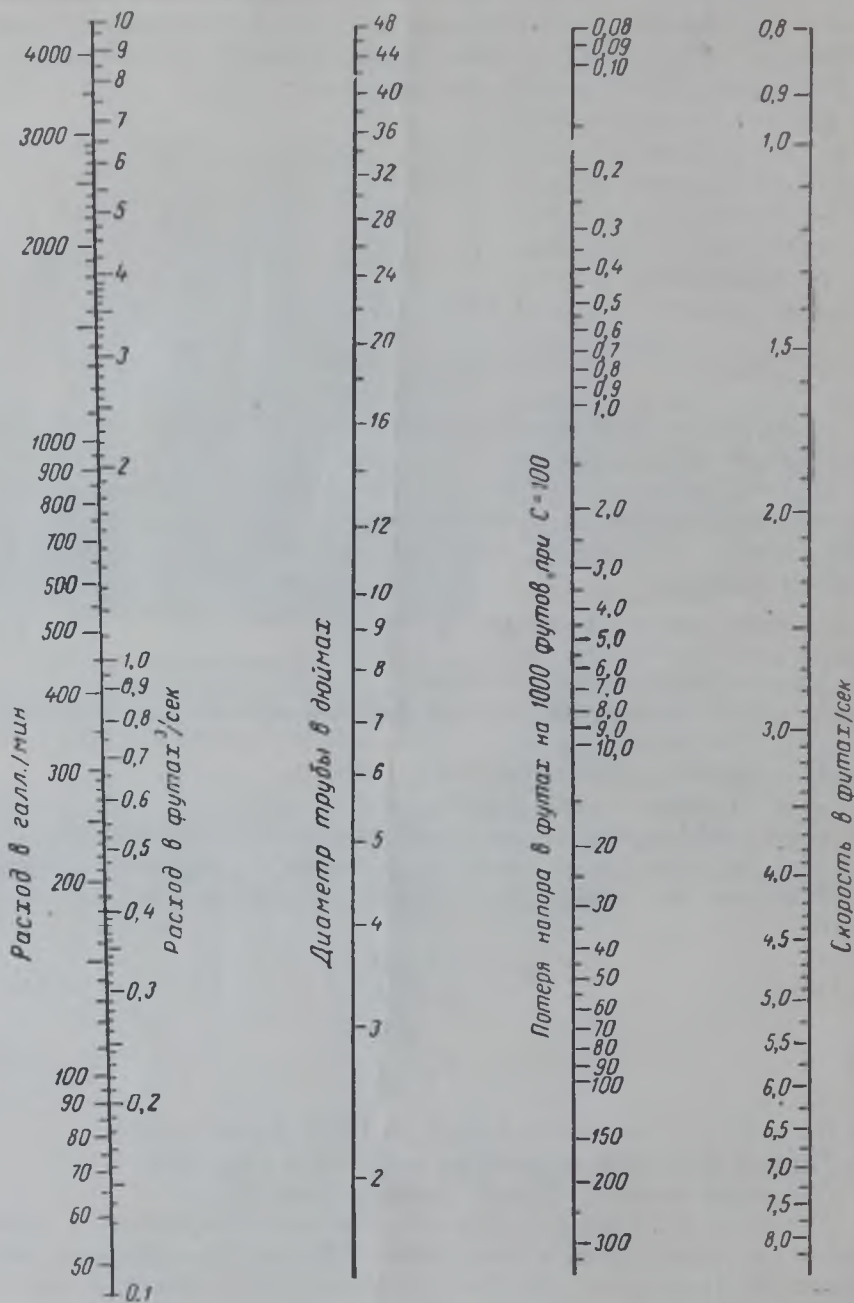


Рис. 80. Номограмма для решения задач по формуле Хазена—Вильямса. Пользование номограммой: наложить край прямой линейки на две точки с заданным значением—на пересечении края линейки с вертикальными линиями получают значения двух других гидравлических элементов, удовлетворяющие данным условиям. Если даны только  $Q$  (расход) и  $V$  (скорость), то задача неразрешима.

Величины  $C$  и  $K_1$  в формуле Хазена—Вильямса  
(для труб круглого сечения при полном заполнении)

Материал	$C$	$K_1$
Новые трубы, покрытые битумом:		
подающие и распределительные трубопроводы диаметром 16" и более . . . . .	135	0,35
распределительные трубопроводы диаметром менее 16" . . . . .	125	0,405
Новые трубы, облицованные цементом, изготовленные центробежным способом при фактическом диаметре $d = 24"$ . . . . .	150	0,28
Новые чугунные трубы, отлитые в вертикальных опоках . . . . .	120—130	—
Новые чугунные трубы, отлитые центробежным способом . . . . .	125—135	—
Цементная облицовка, выполненная вручную . . . . .	125—135	—
Битумная эмаль, нанесенная вручную . . . . .	135—145	—
Битумная эмаль, нанесенная центробежным способом . . . . .	145—155	—
Бетонные трубы высокого качества, большого диаметра . . . . .	145—155	—
Обычные чугунные трубы, покрытие битумом путем погружения, при сроке службы 20 лет и транспортировании инертной воды . . . . .	110—125	—
Обычные чугунные, покрытые битумом путем погружения, бывшие долгое время в употреблении, с сильной сквозной коррозией . . . . .	30—40	—
Обычные чугунные трубы, покрытые битумом путем погружения:		
новые . . . . .	135	—
прослужившие 5 лет . . . . .	120	—
прослужившие 10 лет . . . . .	110	—
прослужившие 15 лет . . . . .	105	—
прослужившие 20 лет . . . . .	95	—
прослужившие 30 лет . . . . .	85	—
прослужившие 40 лет . . . . .	80	—
Новые трубы, покрытые битумной эмалью, подающие и распределительные трубы диаметром 16" и более . . . . .	155	0,27
То же, менее 16"	145	0,30
Асбестоцементные трубы диаметром 6" . . . . .	140	0,32
Старые чугунные трубы, пораженные коррозией, после 20 лет службы . . . . .	100	0,61

Поскольку  $V$  и  $Q$  прямо пропорциональны величине  $C$ , номограммой на рис. 80 можно пользоваться и при других значениях  $C$  [32]. В этом случае для определения действительной величины  $V$  или  $Q$  нужно полученное по номограмме значение этих величин умножить на данное значение  $C$  и разделить на 100.

**Пример.** Найти расход и скорость движения воды, протекающей по трубе диаметром 16", покрытой битумом, при потере напора 1 фут на 1 000 футов и  $C=160$ .

**Решение.** Отсчет по номограмме на рис. 80 дает  $Q=1\ 000$  и  $VC=1,6$ . Действительное значение величины  $Q$  будет  $1\ 000 \times 160/100 = 1\ 600$  галл/мин, и значение  $V = 1,6 \times 160/100 = 2,6$  фут/мин.

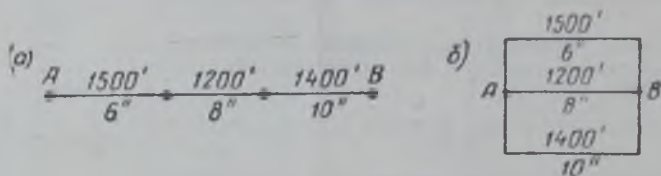


Рис. 81. Составные трубы ( $C=120$ )

*a* — последовательное соединение; *b* — параллельное соединение

Величины  $S$  или  $H$  при  $C$ , не равном 100, должны вычисляться путем умножения величины, взятой по номограмме рис. 80 на  $\left(\frac{100}{C}\right)^{1,85}$ .

**Пример.** Найти потерю напора в фут. и скорость в фут/сек, в трубе длиной 2 000 футов и диаметром 16", покрытой битумом, если  $Q$  равно 1 600 галл/мин и  $C=160$ .

**Решение.** По рис. 80  $H=2,4$  и  $V=2,6$  [33]. Потеря напора на 2 000 футов составляет  $(2,4 \times 2\ 000/1\ 000) \cdot (100/160)^{1,85} = 2$  фута.

Если два из трех значений  $Q$ ,  $V$  и  $D$  известны, то третье может быть получено непосредственно по номограмме, без учета величины  $C$ , поскольку эти три параметра связаны соотношением, не зависящим от  $C$ ;

$$Q = AV = \pi V \frac{D^2}{4}$$

Отсюда в предыдущем примере  $V=2,6$  фут/сек.

Формула Хазена—Вильямса настолько широко применяется в практике водоснабжения, что инженеры при указании характеристик трубопровода называют его просто трубой 100, трубой 140 и т. д., в зависимости от коэффициента шероховатости стенок трубы.

**2. Эквивалентные трубы и составные трубы.** Две трубы, две системы труб или одна труба и одна система труб, как известно, называются эквивалентными, если потери напора при равных расходах в них равны. Задачи, касающиеся эквивалентных труб, часто встречаются в водопроводной практике. Составная труба состоит из двух или более труб различных диаметров, соединенных последовательно, или из двух или более труб одного или различных диаметров, соединенных параллельно. Оба случая показаны на рис. 81.

Составные трубы применяются в распределительных системах и при прокладке трубопроводов большого протяжения.

Для решения задач, касающихся расхода и потерь напора в составных трубах, было разработано много методов<sup>1</sup>. Первым шагом в применении описанного ниже метода была замена всех труб системы на равноценные отрезки труб диаметром 8" при  $C = 100$ . Это может быть сделано путем соответствующей замены в выражении

$$l_8 = \left(\frac{100}{C_n}\right)^{1,85} \left(\frac{8}{d_n}\right)^{4,87} l_n \quad (\text{VII.4})$$

где  $l_8$  — эквивалентная длина трубы диаметром 8" в футах;

$C_n$  — гидравлический коэффициент Хазена — Вильямса для трубы диаметром  $d_n$  в дюймах;

$l_n$  — длина трубы в футах, диаметром  $d_n$ .

Величины эквивалентных длин  $l_8$  приведены далее в табл. 29.

Решение задач с системой составных труб путем применения уравнения (VII.4) или табл. 29 и номограмм на рис. 80 или рис. 85 (см. далее) заключается в следующем.

**Пример.** Определить расход в системе составных труб по рис. 81, если давление в точке  $A$  составляет 100 фунт/дюйм<sup>2</sup>, а в точке  $B$  — 50 фунт/дюйм<sup>2</sup>. Допустим, что  $C$  во всех трубах равно 120.

**Решение.** По табл. 29 1500 фут. трубы диаметром 6" при  $C = 120$  эквивалентны  $1500 \times 2,9 = 4350$  фут. трубы диаметром 8" при  $C = 100$ ; 1200 футов трубы диаметром 8" при  $C = 120$  эквивалентны  $1200 \times 0,713 = 855$  футов трубы диаметром 8" при  $C = 100$ ; 1400 футов трубы диаметром 10" при  $C = 120$  эквивалентны  $1400 \times 0,242 = 338$  футов трубы диаметром 8" при  $C = 100$ . Если эти отрезки сложить, то получим общую эквивалентную длину трубы диаметром 8" при  $C = 100$ , т. е. 5543 футов. Потери напора, согласно заданию, составляют 50 фунт/дюйм<sup>2</sup>, т. е. эквивалентны  $50 \times 2,31/1000 = 115,5$  фута на 1000 футов [34]. Расход при такой потере напора, как видно из рис. 80, составляет 2000 галл/мин [35].

При решении задачи, касающейся параллельной составной трубы, каждая труба должна быть пересчитана, как указывалось выше, в эквивалентный отрезок трубы диаметром 8" при  $C = 100$ . Если общий расход, проходящий через систему, известен, отношение расходов через каждую трубу должно быть равно обратному отношению их длин в степени 0,54, а потеря напора в системе должна быть равна потере напора в любой одной трубе.

**Пример.** Расход воды, движущейся от точки  $A$  до точки  $B$  в параллельной составной системе труб, показанной на рис. 81, составляет 2000 галл/мин при  $C = 120$  для каждой трубы. Требуется определить потерю напора в футах при движении из точки  $A$  к точке  $B$ .

**Решение.** Переводим длины всех труб в эквивалентные длины трубы диаметром 8" при  $C = 100$ . Эти длины даны в предыдущем решении

$$Q_8 + Q_8 + Q_{10} = 2000,$$

<sup>1</sup> См. также Q. B. Graves, Civil Eng., February, 1944, J. R. Arbutnot, Water & Sewage Works, August, 1946, p. 306; G. E. Hinds, Civil Eng., October, 1950, p. 43; B. C. Seal, там же, January, 1951, p. 54.

где  $Q_6$  — расход в трубе  $d=6''$  и т. д.

$$\text{и } \frac{Q_{10}}{Q_6} = \left( \frac{4\,350}{338} \right)^{0,54} = 3,96; \quad \frac{Q_8}{Q_6} = \left( \frac{4\,350}{855} \right)^{0,54} = 2,43.$$

Откуда  $Q_6 + 2,43Q_6 + 3,96Q_6 = 2\,000$

и  $Q_6 = 270$ ,  $Q_8 = 650$ ,  $Q_{10} = 1\,080$  галл/мин.

Потеря напора в каждой трубе по рис. 80 составляет: в трубе диаметром  $10''-33 \times 0,338 = 11$  футов, в трубе диаметром  $8''-13 \times 0,855 = 11$  футов, и в трубе диаметром  $6''-2,5 \times 4,35 = 11$  футов.

**3. Пересечения поперечные и перекрестные.** В распределительных системах могут быть пересечения поперечные и перекрестные, как показано на рис. 82. В таких системах потери напора, расход и другие величины не могут быть вычислены способом эквивалентных труб.

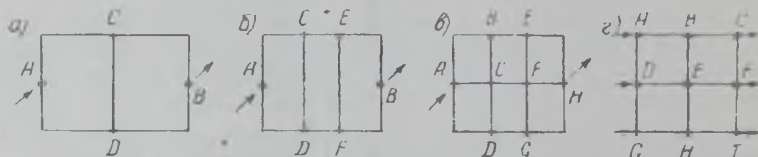


Рис. 82. Пересечения

*a* — поперечное одинарное; *б* — то же, двойное; *в* и *г* — перекрестные

Способ расчета таких систем, предложенный Харди Кроссом, описывается далее в настоящей главе.

**4. Классификация распределительных систем.** Распределительные системы можно классифицировать на кольцевые, сетевые и разветвленные [36]. Само название указывает на характер трассировки распределительных труб. Большинство распределительных систем содержит черты систем каждого типа; практически ни одна система не может служить примером только одного типа, хотя сетевая система является наиболее распространенной, особенно в крупных городах.

В городах, где разница между уровнями поверхности земли в разных местах более 60 м, распределительная система может быть разделена на зоны, во избежание избыточных давлений в пониженных местах. Различные зоны обычно обслуживаются самостоятельными распределительными сетями и резервуарами.

В некоторых городах устраивается два источника, один из них дает хозяйственно-питьевую воду, а другой — менее чистую воду для пожаротушения и промышленных целей.

Запрещается соединять два источника или использовать неочищенную воду для личных нужд, для приготовления пищи или для питья.

Использование загрязненного источника должно быть ограничено исключительно целями пожаротушения, отопления, охлаждения и т. д.



**5. Расчет распределительной системы.** Диаметры труб распределительной системы определяются давлениями, которые должны быть обеспечены в различных точках системы<sup>1</sup>. С одной стороны давления должны быть достаточными для обслуживания потребителей и для пожаротушения, а с другой стороны, они не должны быть слишком высоки, чтобы не увеличивалась стоимость эксплуатации. Так как более половины и обычно  $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$  стоимости водопроводной системы затрачивается на распределительную систему, то важно, чтобы она была рассчитана экономично.

Нет такого метода расчета, который сразу бы давал величину диаметров труб, проходящих по каждой улице. Следует предварительно наметить диаметры труб предположительно и определять давления, которые могут быть в различных случаях работы сети. Это делается путем построения контуров давления и пьезометрических контуров, как указывается далее в п. 9. Затем диаметры труб, если необходимо, изменяют и систему пересчитывают вновь, пока не будут получены удовлетворительные результаты.

Потеря напора зависит от ряда факторов, зависящих в свою очередь один от другого: диаметра труб, скорости движения воды и трения воды о стенки труб. Обычно учитываются только потери вследствие трения в прямой трубе. Если желательнее учесть местные сопротивления, то это делается путем добавления длины прямой трубы, в которой потери на трение эквивалентны местным сопротивлениям.

Потери напора от трения в трубах увеличиваются со временем вследствие коррозии и отложения осадка в трубах.

Система должна быть рассчитана на условия, которые будут в конце периода, соответствующего сроку амортизации труб. При расчете сети из чугунных труб для предварительных вычислений принимают коэффициент  $C = 100$  в формуле Хазена—Вильямса. В табл. 27 даны значения коэффициентов для труб различных сроков службы.

Порядок расчета распределительной сети может быть следующий:

1. Подготавливают план района, снабжаемого водой, дающий представление о характере района и объектах, нуждающихся в противопожарной охране. Типовой план небольшого города изображен на рис. 83.

2. Наносят карандашом тонкие линии вдоль улиц, на которых предполагается уложить водопроводные магистрали, указав одновременно местоположение питающих магистралей, переходов и других соединений в системе.

3. Вычисляют для каждой линии требуемый расход воды для всех целей, включая количество воды, необходимое для пожаро-

<sup>1</sup> См. также R. G. Kincald and R. E. McDonnel, J. A.W.W. A., October, 1946, p. 1151.

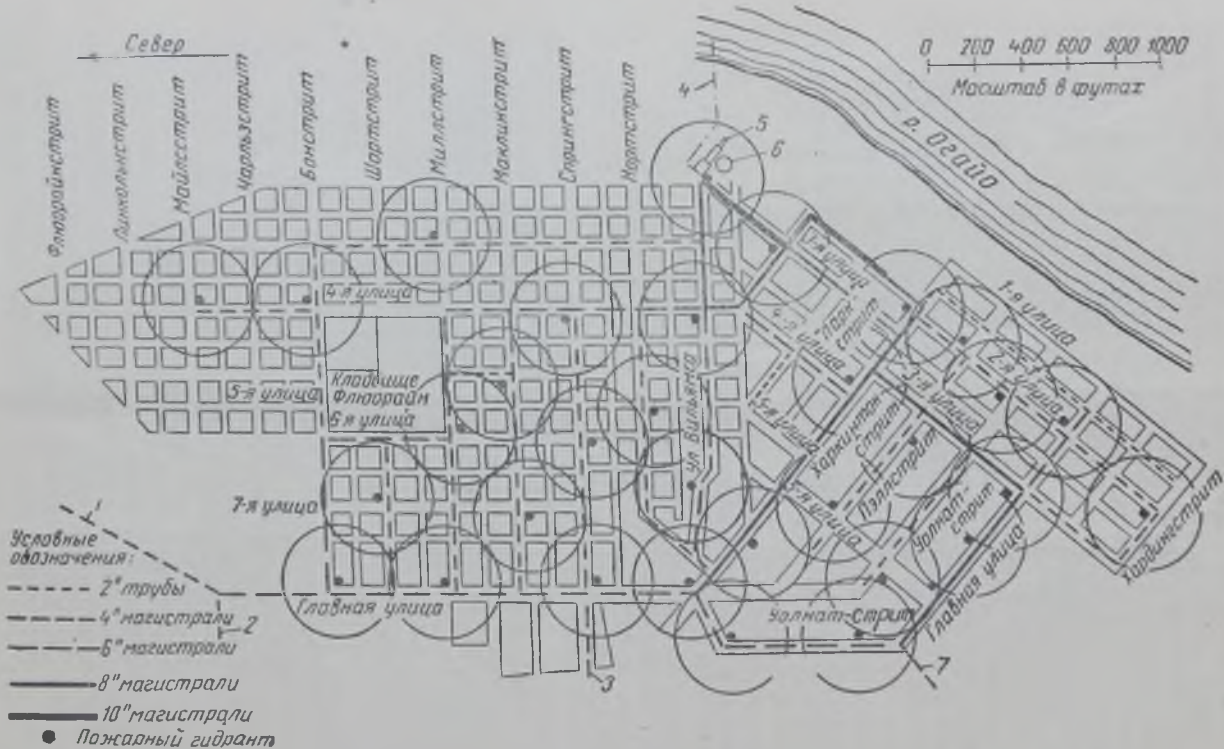


Рис 83. Водопроводная распределительная система в Росиклэре, штат Иллинойс

1 — трубопровод диаметром 4" длиной 800 м и диаметром 6" длиной 30 м с тремя задвижками диаметром 4" и одним пожарным гидрантом к ручникам Хилсдейл; 2 — трубопровод диаметром 4" длиной 410 м с одной задвижкой и одним пожарным гидрантом к Глиявилду; 3 — трубопровод диаметром 4" длиной 425 м с одной задвижкой к ручникам Розиклэрс; 4 — предполагаемые подзаборные сооружения; 5 — предполагаемая фильтровальная станция; 6 — предполагаемый резервуар на 380 м<sup>3</sup>; 7 — трубопровод диаметром 6" длиной 560 м и диаметром 4" длиной 90 м с двумя задвижками

и двумя пожарными гидрантами к ручникам Фейбрю

тушения, и отмечают эти предполагаемые расходы на соответствующей линии.

✓ 4. Вычисляют диаметр каждого участка, пользуясь формулой

$$D = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi V}},$$

где  $V$  принимают 0,9—1,5 м/сек.

Затем наносят этот диаметр на каждой линии.

✓ 5. Вычисляют давление в разных точках распределительной системы, вычертив пьезометрические контуры, если желательно, при предполагаемых критических условиях. Способы таких вычислений описываются в п. 7 и 8 данной главы. Проверяют диаметры труб на плане, исходя из того, чтобы были получены желательные потери напора.

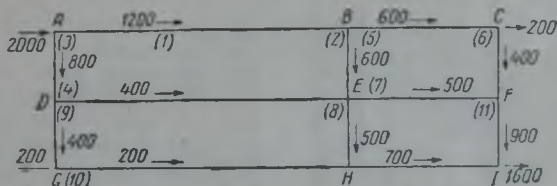


Рис. 84. Сеть трубопроводов для вычисления потери напора по методу Харди Кросса (конфигурация сети, но не распределение потоков по G. M. Fair, Eng. News-Record, February, 27, 1942, p. 50.)

✓ 6. Располагают задвижки и пожарные гидранты и намечают домовые вводы в соответствии с принципами, указанными в п. 16, главы III и в п. 14, 15, 16 настоящей главы. Обозначения применяют указанные на рис. 89 и 90.

**6. Выбор диаметров труб.** Предварительные диаметры труб распределительной системы часто назначают, основываясь на опыте. Если известен расход воды в единицу времени, то можно определить диаметр, исходя из скорости 0,9—1,5 м/сек.

Гаусон<sup>1</sup> показал, что трубы больших диаметров имеют большую пропускную способность на каждый затраченный доллар. Он доказал, что средневзвешенный диаметр магистралей в большинстве городов<sup>2</sup> составляет приблизительно 7" (178 мм).

При выборе диаметров труб можно руководствоваться следующими принципами:

<sup>1</sup> L. R. Howson, Water & Sewage Works, v. 94, 1947, p. R-35, 1947

<sup>2</sup> Средневзвешенный диаметр равен  $\frac{\sum(LD)}{\sum L}$ ,

где  $D$  — диаметр труб;  $L$  — ее длина.

1. В тупиках, если на них нет пожарных гидрантов, можно применять трубы диаметром 2 или 3" при длине тупика не более 90 м и диаметром 4" при длине до 400 м. Если трубопровод присоединяется с обоих концов к магистральным линиям и установка пожарных гидрантов на нем не предусматривается, то применяются трубы диаметром 2 или 3" при длине до 180 м и диаметром 4" при длине до 600 м. При наличии пожарных гидрантов диаметр труб должен быть не меньше 6", хотя в некоторых областях<sup>1</sup> разрешается применять трубы диаметром 4", при длине линии до 180 м. Правление национального объединения страхователей от огня рекомендует для противопожарных водопроводов минимальный диаметр 8", но допускает применение труб диаметром 6" в такой сети, где длина линии между узлами не превышает 180 м\*.

2. Трубы следует взаимно соединять через интервалы не более 365 м.

3. Лучше укладывать две магистрали относительно большого диаметра на параллельных улицах на расстоянии 3 или 4 кварталов, чем одну магистраль большого диаметра, даже несколько большей пропускной способности, чем пропускная способность двух магистралей.

4. Магистральные трубопроводы должны быть дублированы, причем обе линии должны быть уложены на одной и той же улице.

5. В местах перехода через железные дороги, реки или другие какие-либо препятствия должны быть уложены две линии, а предпочтительно даже и большее число линий.

6. Следует предусмотреть, где возможно, аварийные соединения.

После того, как закончена предварительная планировка распределительной системы, необходимо проверить расходы воды в диктующих точках. Если они окажутся недостаточными, выбирают другие диаметры труб и рассчитывают систему заново.

7. Анализ давлений в распределительных системах<sup>2</sup>. При анализе распределительных систем используют следующие методы<sup>3</sup>.

1) метод эквивалентных труб, при котором исключаются и объединяются некоторые трубы, для образования ряда параллельных составных труб<sup>4</sup>;

2) графические методы, описанные Фриманом<sup>5</sup>, Пальсгро-

---

<sup>1</sup> См. также Minimum Standards..., Michigan, J. A. W. W. A., May, 1952, p. 373.

\* См. также L. R. Howson, J. A. W. W. A., December, 1943, p. 1517, там же, April, 1945, p. 397.

<sup>2</sup> См. также I. R. Camp, J. New Engl. Water Works Assoc. 1943, p. 334.

<sup>3</sup> См. также W. Gavett, J. A. W. W. A., March, 1943, p. 267.

<sup>4</sup> См. также W. E. Howland and F. Farr, Jr. J. A. W. W. A., vol. 33, 1941, p. 237.

<sup>5</sup> J. R. Freeman, J. New Engl. Water Works Assoc. v. 7, 1892—1893, p. 49, 152.



увом<sup>1</sup>, Кингсбери<sup>2</sup> в трудах Ренселерского политехнического института<sup>3</sup>;

3) применение электрического анализатора<sup>4</sup>;

4) метод последовательных приближений Харди-Кросса.

В настоящее время для анализа распределительной водопроводной сети применяют почти исключительно электрические анализаторы и метод Харди-Кросса.

**8. Метод анализа водопроводной сети Харди-Кросса<sup>5</sup>.** Метод анализа водопроводной сети Харди-Кросса дает возможность путем только математических вычислений точно определять скорости движения воды и потери напора в трубопроводах водопроводной распределительной сети. Однако расчеты по этому методу требуют много времени.

Для расчета используется метод последовательных приближений, при котором предварительно намечаются расходы воды в трубе  $Q$ , а возможная погрешность вычисляется по формуле

$$\Delta Q = \frac{\sum rQ^n}{\sum nrQ^{n-1}}, \quad (\text{VII.5})$$

где  $r$  — удельное сопротивление трубопровода;  
 $n$  и  $Q$  — те же значения, что и в типовой формуле движения воды  $h = rQ^n$ .

Производя многократное вычисление поправки  $\Delta Q$  к вычисленным величинам  $Q$ , можно получить результаты с любой желательной степенью точности.

Способ решения лучше всего можно объяснить на примере [37].

**Пример.** Допустим, что требуется определить расходы воды на каждом участке распределительной сети, показанной на рис. 84\*, давления в каждом узле, а также начертить пьезометрические контуры, через каждые 2 фунт/дюйм<sup>2</sup>. Для удобства вычисления результаты рекомендуется сводить в таблицу стандартной формы.

**Решение.** 1. Пронумеруем каждый контур слева направо и вниз римскими цифрами.

2. Вычислим длину трубы диаметром 8" при  $C = 100$ , эквивалентную длине каждой трубы в распределительной системе. Записываем результаты, как указано в рабочей табл. 28.

<sup>1</sup> G. K. Palsgrove, Eng. New-Record, v. 107, 1931, p. 422.

<sup>2</sup> F. H. Kingsbury, Eng. News, v. 76, p. 1239, 1916.

<sup>3</sup> Rensselaer Polytech. Inst. Bull. 37, August 1932.

<sup>4</sup> См. также T. R. Camp and H. L. Hazen, J. New Engl. Water Works Assoc., December 1934, p. 383; M.S. McIlroy, там же, December, 1951, p. 299. J. A. W. W. A., April 1950, p. 347.

<sup>5</sup> Univ. Illinois Eng. Expt. Sta. Bull. 286, 1936; J. J. Doland, Eng. New-Record, v. 117, 1936, p. 475; см. также W. E. Howland and F. Farr, Jr., там же, February 27, 1941, p. 50.

\* Эта распределительная система применялась Фейром при упрощении метода Харди-Кросса, опубликованного в Eng. New-Record, March, 3, 1938, p. 342, и в последующих обсуждениях. Она описана также Хоулэндом и Фарром, там же, Feb. 27, 1941. Конклином, там же, Sept. 11, 1941, p. 96.



Рабочая таблица для расчета сети по методу Харди-Кросса

№ трубы	Диаметр в дюймах	C	Длина в футах	Эквивалентная длина трубы диаметром 8" при C = 100, в футах
1	12	120	2 000	200
2	6	120	500	1 450
3	8	100	500	500
4	8	100	2 000	2 000
5	6	120	500	1 450
6	6	120	500	1 450
7	8	100	500	500
8	6	120	500	1 450
9	6	120	500	1 450
10	6	120	2 000	5 800
11	8	100	500	500
12	6	120	500	1 450

Данные табл. 28 основаны на формуле Хазена—Вильямса и вычислены по уравнению

$$\text{эквивалентная длина} = \left(\frac{8}{D_n}\right)^{4,87} \left(\frac{100}{C_n}\right)^{1,85} \cdot \quad (\text{VII.6})$$

где  $D_n$  — диаметр эквивалентной трубы в дюймах;

$C_n$  — коэффициент шероховатости эквивалентной трубы.

3. Отмечаем на рис. 84 предполагаемые расходы и направления движения воды в каждой трубе. Чем точнее первое предположение, тем меньше потребуется времени для получения желательной степени точности. Следует отметить, что в каждом пересечении труб (узле) расход воды, притекающей к узлу, должен быть равен расходу воды, вытекающей из узла.

4. Выписываем значения в рабочую табл. 30, начиная с кольца I (рис. 84) слева направо и вниз в каждом кольце. Допускаем, что каждое кольцо имеет начальную точку в верхнем левом углу и конечную точку в нижнем правом углу. Потери напора в одном направлении считаем положительными, а в противоположном направлении — отрицательными. Величины потери напора  $h_1$  вычисляем по номограмме (рис. 85). Откорректированный расход воды в каждом контуре используем при вычислении  $\Delta Q$  в следующем контуре.

Зависимость между коэффициентом C и другими гидравлическими факторами показана в табл. 31.

Примеры пользования номограммой:

Дано.  $Q=1\ 000$ ,  $L=1\ 000$ ,  $C=140$ . Требуется найти  $h$ .

Решение. При  $C=100$  по номограмме получим  $h=30$ ; отсюда при  $C=140$  будем иметь  $h=30 \times 0,54=16,2$ .

Дано.  $Q=1\ 000$ ,  $h=20$ ,  $C=140$ . Требуется найти  $L$ .

Решение. При  $C=100$  по номограмме получим  $L=730$ , тогда при  $C=140$  будем иметь  $L=730 \times 18,5=1\ 350$ .

5. Повторяем расчет, как указано в п. 4, до тех пор, пока не будет получена желательная малая величина  $\Delta Q$ . Наносим на схеме окончательные расходы воды (рис. 86).

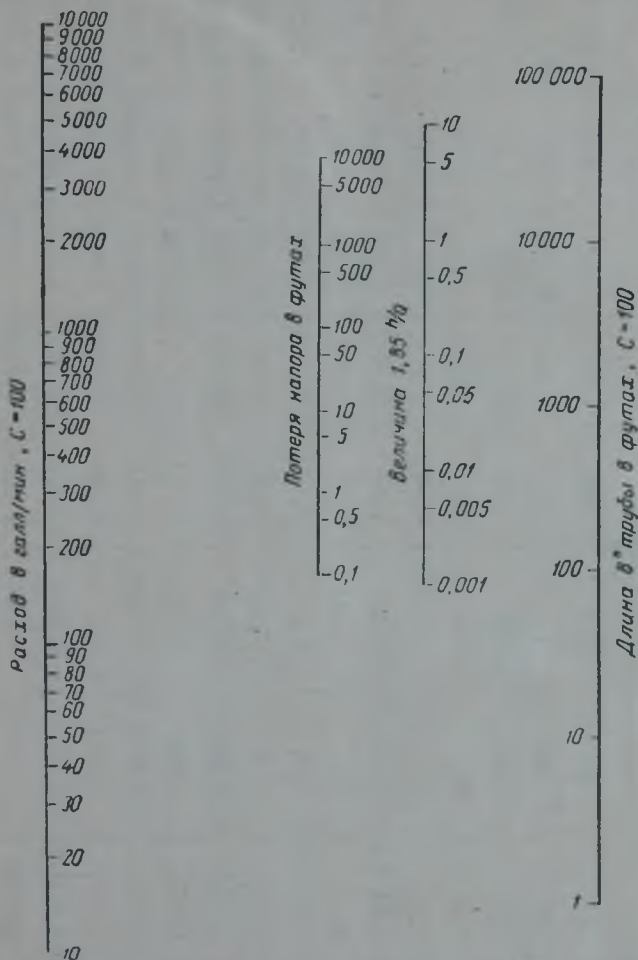


Рис. 85. Номограмма для вычисления потерь напора и других гидравлических факторов в трубопроводе диаметром 8" при  $C=100$  по Хазену—Вильямсу

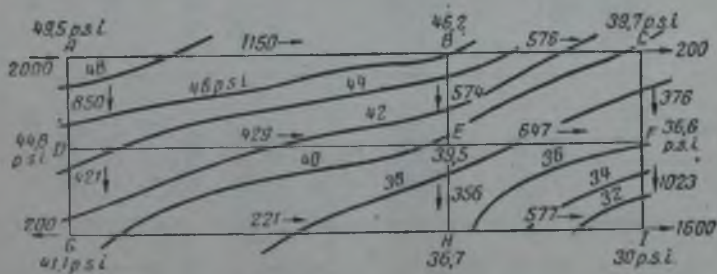


Рис. 86. Рабочая схема для расчета по методу Харди—Кросса

Коэффициенты для перевода длины труб разных диаметров в эквивалентные длины диаметром 8" при  $C = 100$

Диаметр в дюймах	$C=50$	$C=60$	$C=70$	$C=80$	$C=90$	$C=100$	$C=110$	$C=120$	$C=130$	$C=140$
2	3 060	2 105	1 650	1 286	1 012	856	712	608	524	456
3	429	294	232	180	141	119	100	84,9	73,3	63,9
4	104	73	56	44	34	29	24,3	20,7	17,8	15,6
5	36	24	19,2	15,0	11,8	9,9	8,3	7,1	6,09	5,3
6	14,6	10,0	7,9	6,1	4,8	4,06	3,4	2,9	2,5	2,2
8	3,49	2,46	1,94	1,51	1,19	1,00	0,84	0,713	0,615	0,537
10	1,22	0,84	0,78	0,51	0,40	0,34	0,285	0,242	0,210	0,180
12	0,50	0,35	0,27	0,21	0,17	0,14	0,117	0,100	0,086	0,075
14	0,234	0,163	0,128	0,10	0,078	0,066	0,055	0,047	0,041	0,035
16	0,122	0,084	0,066	0,051	0,040	0,034	0,029	0,024	0,021	0,018
18	0,068	0,047	0,037	0,029	0,023	0,019	0,016	0,014	0,012	0,010
20	0,0414	0,0285	0,0224	0,0174	0,0137	0,0115	0,0096	0,0082	0,0071	0,00617
24	0,0169	0,0116	0,0091	0,0071	0,0056	0,0047	0,0039	0,0034	0,0029	0,0025
30	0,0058	0,0040	0,0031	0,0024	0,0019	0,0016	0,0013	0,0011	0,00099	0,00086
36	0,00234	0,00163	0,00128	0,0010	0,00078	0,00066	0,00055	0,00047	0,00041	0,00035

В виде примера можно указать, что труба диаметром 8" длиной 10 футов при  $C = 100$  даст такую же потерю напора, как труба диаметром 6" длиной 1 фут при  $C = 60$ .

Вычисления расходов воды, указанных на рис. 84

№ п/п	Кольца	Труба	L	Q	hi	$\frac{nh_i}{Q}$	$\frac{\Sigma nh_i}{Q}$	$\Sigma hi$	$\Delta hi$	$\Delta Q$	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	hi	$\frac{nh_i}{Q}$	$\frac{\Sigma nh_i}{Q}$	$\Sigma hi$	$\Delta hi$	$\Delta Q$
1	I	1	200	1200	+ 8,2	0,013					1172	1172	7,8	0,012				
2		2	1 450	600	+ 16,2	0,050		24,4	3,8	28	572	606	17,2	0,052		25,0	4,0	29
3		3	500	800	9,8	0,023					828	828	10,4	0,023				
4		4	2 000	400	10,8	0,050	0,136	20,6			428	397	10,6	0,049	0,136	21,0		
5	II	5	1 450	600	16,6	0,051					566	566	14,9	0,049				
6		6	1 450	400	7,8	0,036		94,4	5,1	34	366	366	6,7	0,034		21,6		
7		2	1 450	572	15,2	0,049					606	577	15,4	0,049				
8		7	500	500	4,1	0,015	0,151	19,3			534	647	6,6	0,019	0,151	22,0	0,4	3
9	III	4	2 000	428	12,3	0,053					397	426	12,2	0,053				
10		8	1 450	500	11,8	0,044		24,1	6,9	31	469	356	6,4	0,028		18,6		
11		9	1 450	400	7,8	0,036					431	431	9,0	0,039				
12		10	5 800	200	9,4	0,087	0,220	17,2			231	231	11,6	0,093	0,213	20,6	2,0	9
13		7	500	534	4,6	0,016					647	644	6,6	0,019				
14		11	500	900	12,1	0,025		16,7			1 031	1 013	15,2	0,028		21,8		
15		8	1 450	469	10,5	0,041					356	365	6,7	0,034				
16		12	1 450	700	22,0	0,058	0,140	32,5	15,8	113	587	1 587	16,0	0,050	0,131	22,7	0,9	7

$Q_4$	$Q_5$	$hi$	$\frac{nh_i}{Q}$	$\frac{\Sigma nh_i}{Q}$	$\Sigma hi$	$\Delta hi$	$\Delta Q$	$Q_6$
11		5	6	7	8	9	10	11
1 143	1 143	7,4	0,012					1 150
577	574	15,3	0,049		22,7			581
857	857	11,0	0,024					850
426	435	12,6	0,054	0,139	23,6	0,9	7	428
569	569	14,5	0,047					576
369	369	6,8	0,034		21,3			376
574	581	15,7	0,050					574
644	651	6,7	0,019	0,150	22,4	1,1	7	644
435	428	12,4	0,054					429
365	358	6,4	0,033		18,8			359
422	422	8,7	0,038					421
222	222	10,4	0,086	0,211	19,1	0,3	1	221
651	644	6,4	0,018					647
1 020	1 020	14,8	0,027		21,2			1 023
358	359	6,4	0,033					356
580	580	15,2	0,048	0,126	21,6	0,4	3	577



**Зависимость между коэффициентом  $C$  и другими гидравлическими факторами**

$C$	$Q$ при постоянных $h$ и $L$	$h$ при постоянных $Q$ и $L$	$L$ при постоянных $Q$ и $h$	$C$	$Q$ при постоянных $h$ и $L$	$h$ при постоянных $Q$ и $L$	$L$ при постоянных $Q$ и $h$
50	0,50	3,60	0,28	110	1,10	0,84	1,19
60	0,60	2,54	0,39	120	1,20	0,72	1,40
70	0,70	1,94	0,51	130	1,30	0,62	1,63
80	0,80	1,51	0,66	140	1,40	0,54	1,85
90	0,90	1,21	0,83	150	1,50	0,47	2,12

6. Вычисляем потери напора между узлами в футах, пользуясь номограммой (рис. 85) с эквивалентными длинами трубы диаметром 8" и, переводя потери напора в фунты/дюйм<sup>2</sup>, определяем давления в узлах. Соответствующие вычисления приведены в табл. 32. Полученные данные выписываем на схеме рис. 86 и наносим линии равного давления (контуры давлений) через каждые 2 фунт/дюйм<sup>2</sup>.

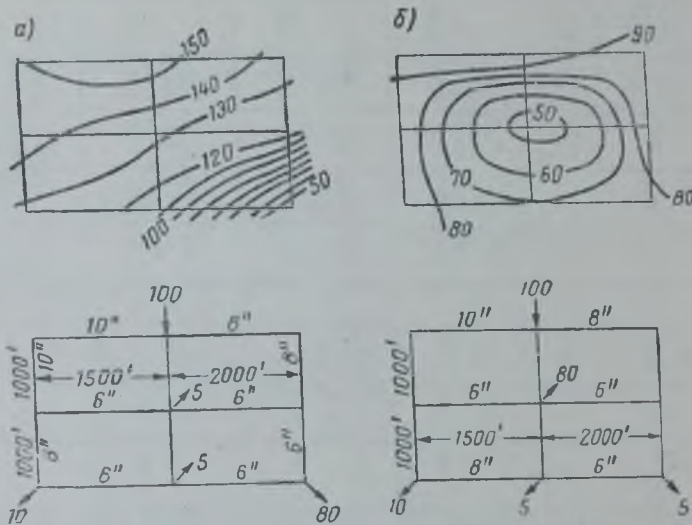


Рис. 87. Контуры давления

**9. Контуры давления.** Контуры давления могут быть вычерчены для всех крайних состояний в распределительной системе. Вообще они должны располагаться таким образом, чтобы потеря напора составляла около 3—5 футов на 1000 футов для труб диаметром 24" и до 25 футов на 1000 футов для труб диаметром 4". Неравномерное расположение контуров давления показывает неудовлетворительное состояние системы в гидравлическом отношении. Контуры давлений для двух условий показаны на рис. 87. Контуры, приведенные на рис. 87,а, показывают, что трубы в нижнем

правом углу имеют недостаточные диаметры при намеченном распределении потоков воды.

**10. Электрический анализатор.** Прибор, известный под названием электрического анализатора водопроводной сети, дает возможность быстро и легко определить скорости движения воды и потери напора в водопроводной сети без каких-либо вычислений. Анализатором показываются расход воды и давление в любой точке. Однако присоединение анализаторов к эквивалентной распределительной системе связано с некоторыми затруднениями. Метод обеспечивает готовое зрительное восприятие и оценку влияния изменений в сооружениях водопроводной сети и ее работе<sup>1</sup>.

В обычной практике этот прибор широко не применяется вследствие высокой его стоимости и больших расходов, связанных с присоединением к распределительной системе [38].

Таблица 32

Вычисление потерь напора и давлений в узлах (к рис. 86)

№ трубы	Q галл. в мин.	Эквивалентная длина трубы диаметром 8" в футах	Потери напора в футах	Потери напора в фунт/дюйм <sup>2</sup>	№ трубы	Q галл. в мин.	Эквивалентная длина трубы диаметром 8" в футах	Потери напора в футах	Потери напора в фунт/дюйм <sup>2</sup>	Узел	Давление в фунт/дюйм <sup>2</sup>	Узел	Давление в фунт/дюйм <sup>2</sup>
1	150	200	7,7	3,3	7	647	500	15,4	6,7	A	49,5	G	41,1
2	574	1 450	15,3	6,0	8	356	1 450	7,0	3,0	B	46,2	H	36,7
3	850	500	10,9	4,7	9	421	1 450	8,6	3,7	C	39,7	I	30,0
4	429	2 000	12,3	5,3	10	221	5 800	10,1	4,4	D	44,8		
5	576	1 450	15,4	6,7	11	1 023	500	15,3	6,6	E	39,5		
6	376	1 450	7,0	3,0	12	577	1 450	15,4	6,7	F	36,6		

**11. Эксплуатационные давления.** Давление в распределительной системе для всех видов водопотребления, кроме тушения пожаров, должно находиться в пределах 2—7 ат; давление 2,8—3,5 ат в уличной водопроводной трубе обеспечивает удовлетворительную работу водопровода. Давление ниже 2 ат недостаточны для подачи воды на верхние этажи трех- и четырехэтажных зданий. Давления свыше 7 ат требуют более тяжелых водопроводных труб и большей осторожности при строительстве и эксплуатации распределительной системы.

Городская распределительная система не всегда обеспечивает подачу воды на верхние этажи отдельных высоких зданий в городе. Обычно вода может подаваться только на четвертый и пятый этажи. Для подачи воды в верхние этажи должны использоваться вспомогательные, повысительные насосы.

<sup>1</sup> M. S. McJrroy, на правах рукописи. См. также J. A. W. W. A., April, 1950, p. 347; J. New Engl. Water Works Assoc., December, 1951, p. 299.

**12. Давление при тушении пожара.** Получение давления для тушения пожаров возможно тремя способами:

1) полное давление, требуемое для тушения пожара, постоянно поддерживается в распределительной системе. Этот способ применяется главным образом в небольших водопроводных системах, и поддерживаемое давление часто оказывается недостаточным для удовлетворительного пожаротушения;

2) давление создается насосной станцией при возникновении пожара. Этот способ используется в небольших и средних городах;

3) давление, необходимое для пожаротушения, создается передвижными насосными установками, которые забирают воду из гидранта.

При последней системе давление на насосной станции во время пожара не увеличивается [39]. Эта система применяется в больших городах.

Давление, необходимое для тушения пожара, обычно считается у наконечника брандспойта. Правление национального объединения страхователей от огня рекомендует принимать давление для тушения пожара  $5,25 \text{ ат}$  в районах, где более 10 зданий имеют высоту свыше трех этажей; в  $4,2 \text{ ат}$  — в районах, где меньше возможность пожара и  $3,5 \text{ ат}$  — в мало застроенных районах. При тушении пожара привозными насосами допускается минимальное давление у гидранта  $0,7 \text{ ат}$ , в большинстве же случаев это давление принимают в  $1,4 \text{ ат}$ .

**13. Расположение водопроводных магистралей на улицах.** Обычно предусматривается прокладка одной трубы с одной стороны улицы, под местом стоянки машин, если ширина мостовой более 12—15 м, или если какие-либо причины препятствуют укладке водопроводных труб под поверхностью улицы без выемки грунта. На широких и особенно важных по значению улицах могут быть уложены две трубы — одна труба большого диаметра по той стороне улицы, где имеются пожарные гидранты, а другая труба небольшого диаметра, на противоположной стороне улицы, где нет пожарных гидрантов. Водопроводные магистрали, где это возможно, не следует укладывать в аллеях и под мостовыми.

**14. Расположение задвижек<sup>1</sup>.** Задвижки следует располагать на всех ответвлениях от магистралей и у гидрантов. Обычно на пересечениях устанавливается не более трех задвижек, а в местах ответвления не более двух. В пересечениях труб разных диаметров предпочтительнее устанавливать задвижки на трубах меньшего диаметра. Нельзя оставлять без задвижек участки длиной более 365 м, а лучше не более 245 м. В особо ответственных местах максимальное расстояние между задвижками должно быть 150 м. При устройстве распределительной системы обычно прокладывают только основные магистрали, а остальные запроектированные трубопроводы укладывают по мере надобности при

<sup>1</sup> См. также Н. W. Griswold, Water Works Eng., November, 1951, p. 1066.

увеличении водопотребления. Следует предусмотреть возможность расширения системы путем установки специальных фасонных частей в необходимых местах. Применение большого количества таких фасонных частей весьма желательно, так как невозможно предвидеть все возможные расширения системы в момент проектирования.

**15. Домовые вводы<sup>1</sup>.** Водопроводной практикой установлено, что домовым вводом разрешается пользоваться только одному потребителю. Однако иногда имеют место нарушения этого правила, как показано, например, на рис. 34.

**16. Расположение пожарных гидрантов.** Расположение пожарных гидрантов определяется площадью, которую должен обслуживать каждый гидрант. Эта площадь частично зависит от населенности района, его значения и способов получения необходимого для тушения пожаров давления. В табл. 33 указаны величины площадей, обслуживаемых одним гидрантом, одобренные Правлением национального объединения страхователей от огня.

Таблица 33

Расход воды при пожаре и площади, обслуживаемые одним гидрантом

Численность населения	Расчетный пожарный расход воды в л/сек	Средняя площадь, обслуживаемая одним гидрантом, в м <sup>2</sup>	
		при тушении привозными пожарными насосами	при тушении непосредственно из гидрантов
1 000	65	11 150	9 300
4 000	125	10 200	7 900
10 000	190	9 300	6 500
100 000	570	5 100	3 700*
200 000	750	3 700	3 700

\* Площадь 3 700 м<sup>2</sup> допускается как максимальная при тушении непосредственно из гидрантов во всех городах с населением 28 000 человек и более.

При расположении гидрантов проектировщику следует исходить также из экономических соображений. При этом нужно учитывать, что ежегодные расходы на содержание гидранта меньше ежегодных расходов на содержание стандартного пожарного рукава двойной длины 15 м×2. Далее нужно учитывать, что потеря напора обычно бывает больше при движении воды через

<sup>1</sup> См. также M. P. Hatcher, Water & Sewage Works, v. 95, 1948, p. R-73.

рукав, чем через трубопровод, обслуживающий гидрант. При более частом расположении гидрантов уменьшается тариф на страхование. Гидранты следует располагать на уличных перекрестках и в промежуточных точках, в соответствии с техническими условиями. Ниже приводятся некоторые указания относительно расположения гидрантов в соответствии с местными условиями:

1) гидранты устанавливаются на расстоянии 0,6—1,8 м от края мостовой во избежание повреждения их транспортом<sup>1</sup> и для сокращения до минимума длины всасывающего рукава передвижных насосов;

2) гидранты располагаются на расстоянии 0,9 м и более от постоянных объектов или входов в помещения, вне полосы движения;

3) гидрант устанавливается таким образом, чтобы нижний штуцер находился на высоте 46 см и более над поверхностью земли, а самая высокая, рабочая, гайка — на высоте не более 1,2 м над поверхностью земли. Для расположения гидрантов следует на плане окружность радиуса, равного около 80% допускаемой длины рукава; гидрант располагается в центре каждой такой окружности, как это показано на рис. 83. Площади, наиболее опасные в пожарном отношении, должны обслуживаться не менее чем двумя пожарными гидрантами.



Рис. 88. Насадка (брандспойт) для пожарных струй (по материалам American La France Foamite Co.)

**17. Пожарные струи.** Эффективность действия пожарной струи определяется ее производительностью, полезной высотой и радиусом полезного действия. Эти факторы зависят от формы, диаметра отверстий, степени шероховатости внутренней поверхности и давления у наконечника. Один из видов пожарного наконечника (насадки) показан на рис. 88.

Общая мощность струи, которую нужно получить из пожарного рукава, зависит от размеров города и характера объектов, нуждающихся в противопожарной охране. Для определения мощности струи рекомендуются эмпирические формулы, указанные в главе I п. 7. Сюда относятся:

Формула Кичлинга

$$Q = 700 \sqrt{P} \quad (\text{VII.6})$$

<sup>1</sup> См. также Public Works, January, 1948, p. 36.



и формула Правления национального объединения страхователей от огня.

$$Q = 1020 \sqrt{P} \left( 1 - \frac{\sqrt{P}}{100} \right), \quad (\text{VII.7})$$

где  $Q$  — производительность в галл/мин;

$P$  — численность населения в тыс. человек.

На основе изучения современной практики пожаротушения в городах с хорошо организованной противопожарной охраной установлены производительности пожарных струй 11 и 18 л/сек при напоре у основания наконечника 2,8 и 7 ат. Минимальное давление допускается в 3,5 ат.

В районах, где не имеется особой опасности возникновения пожара, например в месте расположения церкви или школы, можно считать достаточным наличие для каждого здания не менее четырех пожарных струй производительностью 11 л/сек каждая при давлении у наконечника не менее 2,45 ат. В деловых, промышленных и других районах, где необходима усиленная противопожарная охрана объектов, мощность, количество пожарных струй и давление должны быть увеличены. Относительно данного вопроса в рекомендациях Правления национального объединения страхователей от огня говорится<sup>1</sup>:

«При вычислении пожарного расхода воды учитывается возможность потери воды из поврежденных участков водопровода при больших пожарах. Общий расход воды с учетом такой потери определяется приблизительно по уравнению (VII.7), но во всех случаях следует учитывать, кроме того, конструктивные условия, характерные для города, а также количество пожарных команд и размеры помощи, на которую можно рассчитывать извне в случае большого пожара. Отношение общей производительности пожарных машин к требуемой производительности пожарных струй составляет приблизительно 2 : 3 [40].

В жилых районах расчетный пожарный расход зависит от характера и плотности застройки. В районах с небольшими и невысокими зданиями и для кварталов, в которых застроена одна треть территории, требуется не менее 32 л/сек; при наличии крупных или высоких зданий требуется до 63 л/сек; в плотно застроенных районах, а также районах, застроенных гостиницами или дорогостоящими особняками, требуется от 95—190 до 380 л/сек в частях района, плотно застроенных трехэтажными зданиями».

При определении расхода воды должны быть учтены следующие два условия:

1) исключить подачи пожарной струи при любом давлении не менее 1,4 ат, за исключением районов, не могущих пострадать от пожара, где допускается минимальное давление 0,7 ат;

2) возможность подачи пожарных струй или частей их под давлением непосредственно из гидранта. Эти давления принимаются в 5,25 ат или более в районах, застроенных дорогостоящими зданиями, в зависимости от располагаемого статического давления, высоты зданий и мощности имеющейся пожарной машины: давление в 4,2 ат допускается в районах, где имеется не более 10 зданий, превышающих три этажа, и в густо застроенных жилых районах; давление в 3,5 ат в сельских местностях и торговых районах, где высота зданий не превышает два этажа, а также в редко застроенных жилых районах....»

<sup>1</sup> См. Standard Schedule for Grading . . . Fire Defenses, National Board of Fire Underwriters, принятый 14 декабря 1916 г., изд. 1942, стр. 14.

Линии электропередач высокого напряжения в районе пожара представляют большую опасность для пожарников, так как пожарная струя может явиться проводником электрического тока и вызвать нарушение работы брандспойта или даже непосредственное поражение пожарника. Испытания, проведенные Спрагом и Хардингом<sup>1</sup>, показали, что степень опасности зависит от чувствительности индивидуума к напряжению в линии передачи, расстояния от наконечника брандспойта до линии и удельного сопротивления воды, которое может изменяться от 500 ом/мл для минерализованной подземной воды до 6 000 ом/мл для фильтрованной речной воды. Исходя из соображений безопасности, минимальные расстояния от наконечника до линии передачи для воды с удельным сопротивлением 3000 ом/мл должно составлять 0,9 м при напряжении в линии 440 в и 10 м при напряжении 13 200 в. Струя не должна попадать на линии передачи, если напряжение в ней превышает 13 200 в.

**18. Изучение существующих систем.** Изучение<sup>2</sup> существующей распределительной системы с целью определения ее пропускной способности производится путем непосредственного наблюдения за расходами воды и давлениями. При непосредственном наблюдении можно обнаружить «скрытые» задвижки, воздушные мешки, дефекты в соединениях труб и другие неполадки. Основываясь на данных наблюдений давления в выбранных точках, составляют контуры давлений в период обычного водопотребления и при пожаре. Ввиду постоянного колебания давлений наблюдение лучше всего вести с помощью записывающего измерительного прибора. При изучении расхода воды, возможно при пожаре, выбирают группу из 4—6 гидрантов, расположенных на крупных магистральных линиях. Центральный гидрант в каждой группе используют для определения статического давления до и во время испытания, из всех же других гидрантов в группе разбирают воду с измерением ее количества.

---

<sup>1</sup> Electrical Conductivity of Fire Streams, Purdue Univ. Eng. Bull, 53, 1936;

<sup>2</sup> См. также G. W. Booth, J. A. W. W. A., September, 1944, p. 957  
R. G. Kincaid, Water Works Eng., October, 18, 1944.

## Глава VIII

### СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

**1. Техника безопасности.** При строительстве и эксплуатации водопроводной распределительной системы следует пользоваться руководством по технике безопасности при распределении воды<sup>1</sup>. В нем содержатся стандартные и технические условия, которые применяются при проектировании, строительстве и эксплуатации распределительной системы. В докладе доверенной группы по технике безопасности<sup>2</sup> содержится исчерпывающий контрольный список<sup>3</sup> по проверке правил безопасности.

**2. Испытание водопроводных магистралей.** Для проверки водонепроницаемости трубопровод и оборудование должны быть подвергнуты гидравлическому испытанию под давлением не менее 7,7 ат.

Испытания следует проводить между задвижками и на прямых участках по возможности через 300 м в течение 12 рабочих дней после окончания сооружения сети. При испытании утечка воды из магистральных труб и соединений при давлении 7,7 ат не должна превышать 1800 галл/сутки на 1 милю (450 л/сутки на 1 км) для трубы диаметром 14" и менее. Для определения утечки подрядчик должен оборудовать соответствующий насос, манометр и водомер или другой измеритель количества перекачиваемой воды. Давление 7,7 ат следует поддерживать в течение не менее 20 мин.

Если нельзя провести испытания между распределительными задвижками или вблизи присоединения к существующим магистральям, то подрядчик должен установить пробки на магистральных трубах и испытывать соответствующий участок трубопровода. Трубы следует укладывать ниже глубины промерзания по возможности на небольшой глубине, но обеспечивающей достаточную механическую прочность трубопровода от внешних нагрузок. Обычно

<sup>1</sup> Опубликовано в журнале J. A. W. W. A., June, 1942, p. 917.

<sup>2</sup> См. там же, June, 1951, p. 423.

<sup>3</sup> См. также W. R. La Due, там же, November, 1953, p. 1211.

глубину заложения принимают 1,5—1,8 м, за исключением мест, где глубина промерзания больше<sup>1</sup>. Нельзя укладывать водопроводные и канализационные трубы в одной и той же траншее во избежание проникновения загрязнений из канализационных в водопроводные трубы. Где это неизбежно, водопроводную трубу следует уложить в траншее выше, по одну сторону канализационной трубы<sup>2</sup>.

**3. Подъем и опускание водопроводных труб<sup>3</sup>.** При эксплуатации может встретиться необходимость в подъеме или опускании водопроводной магистрали при вертикальной планировке, устройстве уличных покрытий или по другим причинам. Подъем или опускание труб могут быть произведены без выключения их из работы (под давлением), без серьезного нарушения водоснабжения путем подкладки подпорок и установки домкратов под трубы. Свинцовые соединения, обладая достаточной гибкостью, допускают смещение трубы<sup>4</sup>. Небольшой прогиб допускают даже сернистые и цементные соединения. Допускаемые прогибы зависят от типа соединения, диаметра трубы и внутреннего давления.

**4. Дезинфекция водопроводных труб<sup>5</sup>.** Водопроводные трубы должны быть продезинфицированы до введения в эксплуатацию, а иногда и во время их эксплуатации<sup>6</sup>. Перед дезинфекцией трубы следует освободить от воды, промыть, снова освободить от воды и снова наполнить. При повторном наполнении следует принять меры предосторожности против проникновения воздуха в трубу и предотвратить прямой контакт между трубой и дезинфекционными веществами, пока они не растворились в воде.

Американская водопроводная ассоциация рекомендует придерживаться следующего порядка при дезинфекции водопроводных линий:

1) внутренняя поверхность трубы очищается и протирается бактерицидным веществом, после чего открытые концы трубы закрываются для предотвращения попадания воды из траншеи;

2) производится промывка трубы струей воды со скоростью не менее 0,6 м/сек;

3) труба дезинфицируется хлором, хлорной водой, перхлорном или другим способом;

4) дезинфекционные вещества должны вводиться с одного конца секции трубопровода с выпуском воды из другого конца.

<sup>1</sup> См. также, Water Works Eng, July, 1951, p. 679.

<sup>2</sup> См. также K. W. Robie, J. New Engl. Water Works Assoc., June, 1948, p. 122.

<sup>3</sup> См. также Am. City, May, 1953, p. 116.

<sup>4</sup> См. также W. B. Bushway, там же, September, 1944, p. 71.

<sup>5</sup> См. также A. N. Heller, J. A. W. W. A., December, 1946, p. 1335; Water Works Eng., December 25, 1946, p. 1513; Water & Sewage Works, vol. 98, p. R-41; J. A. W. W. A., August, 1953, p. 834.

<sup>6</sup> A. W. W. A., Specifications C601-48, J. A. W. W. A., February, 1948.

Этими техническими условиями требуется хлорирование всех трубопроводов и указываются различные методы хлорирования.



Труба подвергается обработке одним из следующих трех способов по выбору:

1) хлорная вода (смесь воды с жидким хлором) впускается в начальный участок трубопровода или в любой другой его участок с таким расчетом, чтобы при медленном движении воды в трубе доза хлора была не меньше 50—100 мг/л. Обработанная вода должна оставаться в трубе не менее 3 час., а предпочтительно и дольше. В конце периода количество остаточного хлора должно быть не менее 5 мг/л. После хлорирования труба тщательно промывается, производится анализ воды, и, если необходимо, повторно хлорируется, пока не будут получены удовлетворительные результаты бактериологического анализа;

2) вместо хлорного газа можно применять раствор гипохлорида кальция или такие фирменные продукты, как НТН, перхлорон, максохлор или хлорную известь. После предварительной промывки трубы 5%-ным раствором перечисленных химикалий следует ввести их в трубу таким же образом, как и жидкий хлор;

3) сухой гипохлорид кальция или хлорную известь можно использовать таким же путем, из расчета, чтобы 1 кг реагента, содержащего 70% хлора, приходился на каждые 14 м<sup>3</sup> воды в трубе, что эквивалентно 50 мг/л хлора. Сухой реагент следует вводить во всасывающий колодец насоса или в водонапорную колонну, питающую трубопровод, или в отдельные участки трубопровода по мере его укладки. После введения реагента нужно очень медленно впускать воду, во избежание смывания порошкообразного реагента к одному концу трубопровода. По прошествии нескольких часов трубу следует промыть, пока не исчезнет запах хлора в воде или пока анализ на остаточный хлор не даст требуемых результатов. Джутовое уплотнение раструбных стыков и кожаные прокладки в насосах, клапанах и гидрантах очень трудно дезинфицировать и они являются местами, благоприятствующими развитию бактерий. Хотя патогенные бактерии в этих условиях не размножаются, однако наличие бактерий коли осложняет санитарный анализ и вызывает необходимость уничтожения всех бактерий. Поэтому необходимо провести дезинфекцию джута или пеньки до использования их в соединениях следующими способами<sup>1</sup>:

1) пропитыванием хлорными растворами с концентрацией 50; 100 или 500 мг/л в течение времени от 5 мин. до 2 час.;

2) пропитыванием раствором ртутного хлорида<sup>2</sup> или клерола при концентрации 3 мг ртути на 12 мг пеньки<sup>3</sup>;

3) применением мягкого, щелочеактивированного четвертичного аммониевого бактерицидного состава (полимина D), исполь-

<sup>1</sup> См. также Public Works, June, 1943, p. 18.

<sup>2</sup> W. R. La Due, Annual Report, Ohio Conference on Water Purification, 1940, p. 87.

<sup>3</sup> См. также C. K. Calvert, Eng. News-Record, vol. 122, 1939, p. 1788.



зуюемого в виде солевого раствора 1 : 500 при контактном периоде в 7 дней<sup>1</sup>;

4) обработкой в автоклаве острым паром под давлением в течение 1—30 мин.;

5) кипячением в течение 1—30 мин.;

6) высушиванием сухим теплом.

Сотиер и Уорд считают, что обычно необходимо повторное применение хлора дозой до 200 мг/л. Они указывают, что «могут пройти месяцы, прежде чем зараженная труба будет стерилизована». Обработка в автоклаве острым паром под давлением оказалась наиболее эффективной. Колверт<sup>2</sup> сообщает, что клерол (ortho-mercurio-phenol) является удовлетворительным дезинфекционным средством.

**5. Работа по эксплуатации.** Эксплуатация распределительной системы включает в себя: запись показаний, осмотр состояния, очистку и промывку труб, устройство, очистку и оттаивание домовых вводов, предотвращение износа оборудования, нахождение и устранение утечек воды, оттаивание замерзших труб, гидрантов и водомеров и, наконец, проверка и ремонт гидрантов, задвижек<sup>3</sup>, водомеров и другого оборудования и уход за ними.

**6. Организация наблюдений<sup>4</sup>.** Опыт показывает, что плохая организация наблюдений за работой сети приводит к тому, что некоторые задвижки «теряются», вследствие чего они остаются закрытыми полностью или частично, когда этого не требуется, некоторые из задвижек дублируют друг друга, некоторые из магистральных линий, уложенных параллельно, оказываются неработающими, и к ряду других дорогостоящих и вредных последствий.

Для правильной организации наблюдений в первую очередь необходимо наличие планов распределительной сети. Желательны три типа таких планов: 1) общий полный план всей системы; 2) крупномасштабный местный план с детальными записями; 3) планы с нанесением мест нахождения задвижек, клапанов, гидрантов и другого оборудования.

Часть общего плана изображена на рис. 89, а принятые условные обозначения указаны на рис. 90. Общие, полные планы должны быть выполнены на плотной кальке. Сеть наносится черными линиями. Предпочитается масштаб — 500 фут/дюйм (1 : 6 000) и минимально — 1 000 фут/дюйм (1 : 12 000).

На общий план должны быть нанесены следующие данные:

- 1) название улиц;
- 2) диаметр магистральных труб;
- 3) пожарные гидранты;
- 4) задвижки;
- 5) стрелка-ориентир (север—юг);

<sup>1</sup> A. L. Sotier, and H. W. Ward, J. A. W. W. A., October, 1947, p. 1038.

<sup>2</sup> С. К. Calvert, там же, January, 1945, p. 46.

<sup>3</sup> См. также R. W. Esty, Water & Sewage Works, vol. 94, 1947, p. R-84.

<sup>4</sup> См. также F. E. Alderman, J. A. W. W. A., April, 1953, p. 417.



Рис. 89. Часть полного плана водопроводной распределительной системы (из Recommended Practice for Distribution System Records, J. A. W. W. A., February, 1940, p. 188)

Наименование	На рабочих чертежах	На разрезах	На схемах с расположением задвижек	На вертикальных планах и чертежах с расположением клапанов
Трубопроводы, диаметром 3" и менее	-----	-----	-----	-----
" 4"	-----	-----	-----	-----
" 6"	-----	-----	-----	-----
" 8"	-----	-----	-----	-----
Трубопровод больших диаметров	Указываются размеры	Указываются размеры	12" 24" 36"	12" 24" 36"
Задвижка				
Задвижка закрытая				
Задвижка частично закрытая				
Задвижка в камере				
Задвижка на рельсе и мифта				
Обратный клапан				
Регулятор				
Записывающий измерительный прибор				
Гидрант с 2 2 1/2" штуцером				
Гидрант со штуцером				
Пересечения (два обозначения)				
Тройник и крест				
Пробка, тупиковый конец				
Переход				
Колено горизонтальное				
Колено вертикальное		Нет обозначения		
Мифта		нетатушованные кружки для 4" ответвлений с гидрантами, а затушованные кружки для 6" ответвлений с гидрантами		
Стык раструб и гладкий конец				
Стык типа Дрессер				
Стык фланцевой				
Стык на резьбе				

Рис. 90. Стандартные условные обозначения для водопроводных распределительных систем (из Recommended Practice for Distribution System Records, J. A. W. W. A., February, 1940, p. 216)

**6) масштаб;**

7) дата последнего ремонта;

8) полное название [41].

Эти планы должны быть также выполнены на плотной кальке.

На планах отдельных районов наносятся детали конструкций распределительной системы. Водопроводные линии предпочтительно наносить черными линиями.

Для местных планов размер планшеток  $20 \times 25$  дюймов ( $50 \times 63$  см) плюс 2—3 дюйма (5—7 см) на поля.

Масштаб: 50 фут/дюйм (1 : 600) в перенаселенных районах, 100 фут/дюйм (1 : 1 200) в нормально населенных районах, 200 фут/дюйм (1 : 2 400) в сельских местностях.

Обозначения: координаты; горизонтальные линии обозначаются буквами, вертикальные — цифрами (или горизонтальные линии четными цифрами, а вертикальные линии — нечетными цифрами). Сведения, которые должны быть нанесены на местные планы:

- 1) название или номер планшетки;
- 2) номера соседних планшеток;
- 3) название и ширина улиц;
- 4) магистральные трубы и их диаметр;
- 5) материалы, из которых изготовлены трубы;
- 6) год укладки труб;
- 7) порядок укладки труб;
- 8) расстояния от границ частных владений;
- 9) пожарные гидранты, номера и тип;
- 10) задвижки с указанием номера;
- 11) на полях — номера планшетов, где имеются задвижки;
- 12) номера пересечений;
- 13) номера кварталов;
- 14) номера участков;
- 15) номера домов;
- 16) номера абонентов;
- 17) измерительные приборы, установленные на линии;
- 18) размеры водопроводных кранов;
- 19) размеры и материалы вспомогательной линии;
- 20) расстояние от магистрали до запорного клапана [42];
- 21) расстояния от запорного клапана до границ частных владений;
- 22) расстояния до узловых точек;
- 23) расстояния до фасонных частей;
- 24) глухие концы и измерительные приборы;
- 25) дата последнего осмотра;
- 26) стрелка (север—юг);
- 27) масштаб.

В данные, характеризующие задвижку, следует включать:

размер и марку задвижки, направление вращения при ее открытии, номер, название улицы, где находится задвижка, расстояние и направление к ближайшим ориентирным пунктам. Сведения на плане могут дополнять схемы.

В ежемесячных отчетах об эксплуатации водопроводных сооружений должны быть включены следующие сведения:

1) длина и диаметры трубопроводов, уложенных и замененных в течение данного месяца, и общая протяженность в милях трубопроводов каждого диаметра, уложенных по данное число;

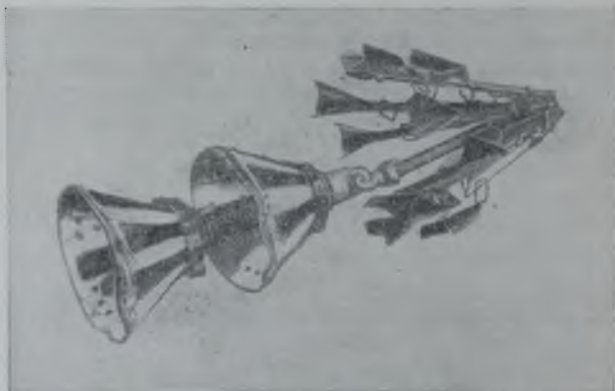


Рис. 91. Гидравлический трубоочиститель (по материалам Pittsburgh Pipe Cleaner Co.)

- 2) число задвижек каждого размера;
- 3) число, размеры и типы пожарных гидрантов;
- 4) число, диаметр и длина домовых вводов.

На плане должны быть показаны места и характер выполненной работы, количество рабочей силы, применявшиеся материалы и оборудование (отремонтированное или замененное) и затраченное время.

**7. Очистка водопроводных труб<sup>1</sup>.** Если не производить регулярно очистку трубопроводов, пропускная способность их уменьшается обычно на 1—1½% в год.

Стоимость очистки составляет около 5% от первоначальной стоимости трубы и такая стоимость очень высока для труб небольшого диаметра. Трубы очищаются путем проталкивания через них скребкового аппарата, показанного на рис. 91.

<sup>1</sup> См. также J. F. Bailey Water and Water Eng., August, 1943, p. 317; Water Works Eng., March, 1950, p. 220; April, 1950, p. 300; H. G. Dresser, там же, April, 1952, p. 343; April, 16, 1947, p. 415; April 2, 1947, p. 353; March 19, 1947, p. 229; February, 5, 1947, p. 142; AWWA Specifications C601.



Скребковый аппарат вводится в опорожненный трубопровод через *V* или *T* [43] и проталкивается через него давлением воды, действующим сзади на аппарат. К скребковому механизму можно прикрепить трос для его вытаскивания из трубопровода, а также для того, чтобы можно было определить его местоположение, если он остановится из-за засора. Давление воды приводит в действие турбину-лопасти, имеющиеся у скребкового механизма. Вода, проходящая через скребковый механизм или вокруг него, смывает наросты и мягкий осадок впереди скребка.

Другим способом очистки трубопроводов является пропускание через них надутого резинового шара, покрытого цепочной сеткой<sup>1</sup>.

Отложения могут быть удалены через гидрант, расположенный в пониженной части трубопровода, или через фасонную часть, через которую скребок удаляется из трубопровода. Турбино-скребковый механизм может восстановить пропускную способность трубопровода, но может и повредить его облицовку. Очистку приходится повторять довольно часто.

Скребки передвигаются со скоростью около 6,4 км/час; для их работы требуется давление воды около 4,5 ат при очистке трубы диаметром 12". Имеются конструкции скребков, которые протаскивают через трубопровод при помощи троса.

**8. Химическая очистка трубопровода.** Химическая очистка может оказаться очень эффективной и экономичной, по ее можно применять только, хорошо зная действие химических веществ на качество воды. Например, хлорированные углеводороды могут дать воде привкус и запах и могут быть вредны для потребителей и для водопроводных устройств; медный купорос не принесет пользы при высокой щелочности воды, а хлор может оказаться не эффективным в открытой воде, вследствие влияния солнечных лучей. Успешно можно применять кислоты, особенно при очистке труб небольшого диаметра для удаления отложений углекислого кальция при условии добавки к кислоте ингибитора. Пленка водорода, удерживаемая ингибитором, защищает металл от действия кислоты, в то же время ингибитор не тормозит действия кислоты на отложения кальция.

В качестве ингибиторов успешно применяются отруби, мука, клей, а также такие органические вещества, как анилин, пиридин и хинолин. Ингибиторы, содержащие мышьяк, применяться не должны<sup>2</sup>.

Перед выбором любого материала в качестве ингибитора следует испытать его эффективность (скорость выделения водорода) на стандартном металлическом образце при такой же температуре, концентрации кислоты и других условиях, которые будут иметь место в полевых условиях. Мик<sup>3</sup> сообщает, что 0,7%-ный раствор

<sup>1</sup> См. также R. L. Derby, J. A. W. W. A., November, 1947, p. 1107.

<sup>2</sup> См. также A. R. Hollet, J. A. W. W. A., May, 1937; V. A. Wordell, Chem. and Min. Rev., vol. 27, 1935, p. R-286.

<sup>3</sup> K. L. Mick, Water & Sewage Works, April, 1946, p. R-241.

соляной кислоты с добавкой 2% анилинового масла уменьшает коррозионное действие кислоты на 44%, а 5%-ный раствор 2%-ной кислоты с добавкой 2% анилинового масла уменьшает коррозионность кислоты на 97%.

**9. Очистка и ремонт домовых вводов.** Домовые вводы засоряются более часто, чем магистральные трубы, вследствие появления точечной коррозии и отложения осадка. Домовые вводы можно очищать с помощью скребка<sup>1</sup> или путем продувания через них сжатого воздуха, если диаметр их недостаточен для применения турбинного скребка. Возможно использование таких инструментов, как режущие ножи, щетки, зубчатые скребки, а также скребки, прикрепленные к гибким стержням, которые приводятся во вращение вручную<sup>2</sup>. Иногда полезно протаскивание через домовый ввод размокающего вещества, например туалетной бумаги.

Трентлэйдж<sup>3</sup> сообщает, что благоприятные результаты дает введение в засорившийся домовый ввод смеси воздуха и воды под давлением 100 ат.

Практика показывает, что при этом способе прочистки благоприятные результаты были получены в 70% случаев, причем разрыв труб произошел только в 10% случаев.

Домовые вводы иногда замораживают для проведения ремонта без выключения давления в магистральной трубе<sup>4</sup>.

**10. Борьба с злоупотреблениями при расходовании воды<sup>5</sup>.** Большое количество воды, подаваемой насосной станцией, может остаться неучтенным. В городах, где вся вода проходит через водомеры, иногда невозможно учесть до 20—30% перекачиваемой воды. Неучтенная вода — необязательно результат утечки. Часть ее представляет ту воду, которая ввиду небольшого ее количества не могла быть учтена водомерами, а некоторая часть этой воды может представлять краденую воду.

Заброшенные домовые вводы — наиболее частая причина появления утечки.

Обнаружить злоупотребление водой можно путем изолирования задвижками участка водопроводной сети таким образом, чтобы вся вода поступала в «изолированный» район по одной трубе. Расход воды по этой трубе измеряется и, если он окажется больше обычного, то «изолированный» район делится на меньшие районы. Измерения, сделанные в ранние, утренние часы, скорее укажут на утечку, злоупотребление или ненормальное использование воды. Расход воды может быть измерен путем введения питометра в трубу<sup>6</sup>. Так как это может вызвать необходимость

<sup>1</sup> См. также M. K. Tenny, *Water Works Eng.*, October, 1948, p. 980.

<sup>2</sup> См. также L. G. Carlton, там же, Sept. 11, 1940, p. 1150.

<sup>3</sup> La V. Trentlage, *Water Works & Sewerage*, June, 1943, p. R-113.

<sup>4</sup> См. также *Water Works Eng.*, May 14, 1947, p. 529, November 12, 1947, p. 1365.

<sup>5</sup> См. также E. S. Cole, *Water & Sewage Works*, vol. 96, 1949, p. R-45.

<sup>6</sup> См. также E. S. Cole, *J.A.W.W.A.*, February, 1945, p. 181.

открытия трубы и просверливания отверстия для вставки питомера, то иногда применяют следующий метод. Задвижки в данном районе водопроводной распределительной системы закрывают, а воду подают в район через один или более пожарных гидрантов, оборудованных водомерами, с каждой стороны закрытых задвижек.

Если излишнее потребление сосредоточивается в определенном районе, то места хищения воды позволит обнаружить проверка водопровода каждого дома.

**11. Незаконное пользование водой.** Незаконное пользование водой обычно не является существенным с точки зрения экономии, но с этим следует бороться по принципиальным соображениям. К незаконным способам расходования воды относятся: получение воды в обход водомера («перепрыгивание»), создание медленных, не регистрируемых водомером потоков («просачивание»), подача воды соседу через рукав; откачка воды из гидрантов без разрешения (обычно производимая строителями); перемена направления вращения записывающего механизма водомера; повреждение шкалы водомера и использование скрытых соединений позади него. Организация внимательного наблюдения служащими, поощряемыми премиями за обнаружение незаконного пользования водой, — лучшее средство для борьбы с этим явлением.

**12. Определение местоположения труб.** В тех случаях, когда регистрация прокладываемых трубопроводов производится нерегулярно, подземные и подводные трубы могут быть «потеряны». Приборы для определения местоположения подземных трубопроводов бывают двух типов: приборы первого типа составляют с трубой часть замкнутой электрической цепи; в приборах другого типа антенна обнаруживает магнитное поле, создаваемое в трубе радиопередатчиком или путем предварительного возбуждения. В первом случае, после того как будет образована электроцепь с помощью электрических контактов с двумя обнаженными точками на линии трубопровода, сила звука в наушниках увеличивается по мере приближения к трубе. Когда наблюдатель оказывается непосредственно над трубой, звук исчезает.

Во втором случае электрическая заглубленная игла указывает нахождение трубы и позволяет определить глубину, на которой она находится<sup>1</sup>.

**13. Обнаружение утечек<sup>2</sup>.** Методы, применяемые для обнаруживания утечки в подземных и подводных трубах, следующие:

- 1) непосредственное наблюдение;
- 2) применение щупа;
- 3) определение точки перелома на пьезометрической линии;
- 4) искусственное создание гидравлического удара;

<sup>1</sup> См. также B. Miller, *Water Works & Sewage*, September, 1943, p. 335; C. R. Fisher, *Water & Sewage Works*, vol. 94, p. R-101, 1947; *Water Works Eng.*, June, 1949, p. 548.

<sup>2</sup> См. там же May, 1949, p. 419.

- 5) вдувание воздуха в трубу;
- 6) введение красителя или соли в воду;
- 7) изучение качества (изменение содержания соли) воды в трубе<sup>1</sup>;
- 8) измерение объема воды, требуемого для заполнения трубы;
- 9) прослушивание звука непосредственно с помощью соноскопа или электронного звукоусилителя<sup>2</sup>.

Каждый из способов удобен в определенных условиях и ни один из них не является универсальным и безошибочным.

Непосредственное наблюдение едва ли можно назвать методом, так как не требуется специальных знаний, чтобы определить место утечки, когда вода, например, выступает на поверхность уличного покрытия.

Однако необходимы некоторая квалификация и опыт, чтобы обнаружить утечку по появлению яркой зелени, если трубопровод проходит в зоне зеленых насаждений, по расплывчатому пятну на поверхности земли, по растаявшему снегу или льду или, наконец, по быстрому исчезновению инея или росы ранним утром. Каждое из этих явлений может указать место утечки<sup>3</sup>. Вода появляется на поверхности не всегда вблизи от того места, где она вытекает из трубы. После определения района утечки по этим признакам точно место утечки может быть обнаружено при помощи щупа. Этот инструмент представляет собой остро заточенный металлический стержень, который втыкают в землю и вытаскивают для осмотра. Если он влажен или покрыт грязью, то это показывает, что место утечки близко к данному месту.

Если утечка из какого-либо участка настолько сильна, что трубопровод полностью освобождается от воды за короткое время после его выключения, то место утечки можно обнаружить следующим образом. Освобожденный от воды участок трубопровода снова быстро наполняют водой и измеряют объем воды, требуемый для наполнения. Этот объем делят на площадь поперечного сечения трубы. Полученное частное и определяет расстояние до места утечки.

Утечка из водопроводной трубы обычно сопровождается некоторым шумом, причем небольшие утечки производят больше шума, чем большие. Шум утечки можно услышать непосредственно, прислонив ухо к домовому вводу в подвале или к щупу, опущенному вблизи трубы. Если непосредственно ухом нельзя различить шум, можно применить один из многих простых инструментов для усиления звука: аквафон, детектофон и соноскоп. Аквафон подобен телефонной трубке, но без электросоединений.

<sup>1</sup> См. также G. Hazeу, Water & Sewage Works, September, 1951, p. 382.

<sup>2</sup> См. также Miller, сноска на стр. 157

<sup>3</sup> См. также D. O. Gross, Water Works & Sewerage, June, 1944, p. R-172.

Один конец трубки прикладывают к шупу или трубе, усиливая, таким образом, слышимость. Это повторяют до тех пор, пока утечка не будет обнаружена. Детектофон работает подобно стетоскопу.

Утечку можно обнаружить, следуя вдоль трубы в направлении падения давления, т. е. в направлении гидравлического уклона. В длинном трубопроводе утечку можно обнаружить по резкому перелому пьезометрической линии в месте утечки.

В длинном трубопроводе, не имеющем ответвлений, место утечки может быть определено путем искусственного создания гидравлического удара.

Для этого открывают задвижку на трубопроводе и держат ее открытой до тех пор, пока скорость движения воды не станет постоянной, после чего задвижку быстро закрывают и немедленно же измеряют давление в трубопроводе. Напорная волна, вызванная гидравлическим ударом, пройдет по трубопроводу до места утечки, где часть ее рассеется. Волна уменьшившегося давления вернется обратно к манометру на задвижке, который отмечает падение давления. Так как волна проходит дважды расстояние между задвижкой и местом утечки, то расстояние до места утечки в футах равно

$$D = \frac{TV}{2}, \quad (\text{VIII.1})$$

где  $T$  — время в секундах, необходимое для возврата напорной волны к задвижке;

$V$  — скорость прохождения напорной волны.

Вдувание воздуха или введение красителя в трубу может быть применено для обнаружения утечки только в затопленной (подводной) трубе. Пузырьки воздуха или красящего вещества появятся над местом утечки. Наиболее часто применяют краску флюоресцин и несколько более дешевую краску уранин; обе эти краски изготовляются из каменноугольной смолы. Их легко обнаружить в концентрации до  $1 \text{ мг/л}$  невооруженным глазом, а при меньшей концентрации до  $0,0001 \text{ мг/л}$  — с помощью флюороскопа [44]. Вода должна быть щелочной, так как кислотность обесцвечивает краску, которая восстанавливается при добавлении щелочи. Такие краски нельзя применять при питьевой воде ввиду того, что неприятно пользоваться окрашенной водой.

Для нахождения утечки можно применить также добавку соли ( $\text{NaCl}$ ). Тогда путем химического анализа устанавливается увеличенное содержание хлора в воде в том месте трубопровода, где имеется утечка. Достаточно незначительно увеличить концентрацию соли, чтобы можно было обнаружить ее на вкус.

**14. Электрическое звукоусиление.** Звук, издаваемый вытекающей водой, можно усилить до 10 000 раз вакуумными трубками.

Можно также настроить приемник на высоту звука, издаваемого вытекающей водой, устранив посторонние звуки. Очень



чувствительным к нарушению звука является элемент  $M$ -score<sup>1</sup>. Эффективность прибора значительно возрастает при непосредственном контакте его с трубой в нескольких точках, но если следовать вдоль трубопровода, то по мере приближения к месту утечки звук становится слышен и без контакта с трубой. Через трубу звук передается в сотни раз быстрее, чем через пористый грунт.

**15. Допускаемая утечка.** Американской водопроводной ассоциацией максимальная допускаемая утечка установлена 950 галл. в сутки на 1 дюйм диаметра и 1 милю протяжения (565 л на 1 *дм* диаметра на 1 *км*). Согласно техническим условиям трубопровод может быть принят в эксплуатацию, если утечка

не превышает величины  $\frac{ND\sqrt{P}}{850}$  галл/час, где  $N$  — число соединений по длине испытываемой трубы;  $D$  — номинальный диаметр в дюймах и  $P$  — среднее давление при испытании в фунтах/дюйм<sup>2</sup>.

**16. Измерение давления<sup>2</sup>.** Засорение труб распределительной системы, увеличение водопотребления, злонамеренное расходование воды или утечки могут вызвать падение давления в некоторой части системы. Давление по всей системе определяется путем установки манометров на гидрантах или в других удобных местах. Ненормально низкое давление в определенной точке показывает, что имеются какие-то неполадки на участке между точкой с низким давлением и ближайшей точкой с нормальным давлением. Дальнейшие исследования укажут место неполадок более точно, после чего можно определить причину потери давления. Если причиной является утечка или большое водопотребление, то в точке с нормальным давлением вода будет проходить с большой скоростью. Если труба частично засорена, то скорость прохождения воды через нее будет, наоборот, низкой. Засорение не влияет на обычный расход воды, но может вызвать серьезные потери давления при пожаре. Поэтому при тушении пожара следует производить наблюдение над величиной давления у гидрантов.

**17. Замерзание воды в трубах<sup>3</sup>.** Время, в течение которого происходит замерзание воды, зависит от температуры, объема воды и скорости ее движения.

Время (в часах) изменения температуры воды, находящейся в неподвижном состоянии, выражается

$$t_1 = 2,3 \frac{q}{k} \lg \frac{T_2}{T_1}, \quad (\text{VIII.2})$$

<sup>1</sup> См. также С. R. Fisher, J. A. W. W. A., December, 1946, p. 1330.

<sup>2</sup> См. также W. D. Hudson, там же, February, 1954, p. 144.

<sup>3</sup> См. также T. M. Riddick and others, там же, November, 1950, p. 1035.

где  $T_1$  — первоначальная разница температур воды и воздуха;  
 $T_2$  — конечная разница температур воды и воздуха;  
 $q$  — объем воды в л на 1 м трубы;  
 $k$  — потеря тепла в ккал/час на 1 м длины трубы, зависящая от типа изоляции.

Величина  $k$  колеблется от 0,72 для плохо изолированной трубы до 0,08 для хорошо изолированной<sup>1</sup>.

Так как вода, находящаяся в движении, замерзает медленно, потребители часто злоупотребляют этим и оставляют открытым кран, чтобы предотвратить замерзание; в некоторых случаях фирмы, владеющие водопроводами, поощряют эту практику.

Следует отметить, что приведенная формула дает не время, требуемое для замерзания, а время изменения температуры воды. Считается, что замерзание начинается, когда температура достигает 32°F (0°C), но часто бывает переохлаждение воды на 0,01—0,1°F (0,006—0,06°C). Первым признаком замерзания является образование игольчатого льда<sup>2</sup>. Время  $t_2$  в час., требуемое для замерзания воды, начинающегося при первоначальной температуре 0°C, равно

$$t_2 = \frac{80q}{kT}, \quad (\text{VIII.3})$$

где  $T$  — температура наружного воздуха в град.;  $q$  и  $k$  — те же, что и в уравнении (VIII. 2).

При расчете водопроводных труб на незамерзаемость<sup>3</sup> тепловой баланс следует составлять таким образом, чтобы количество получаемого трубами тепла было больше количества теряемого тепла. Во избежание замерзания труб бывает достаточно только небольшого количества дополнительного тепла даже в арктических условиях. Количество тепла, которое необходимо добавить, можно вычислить по методу Риддика<sup>4</sup>.

Условия, в которых обнаженный трубопровод замерзнет, можно определить путем сравнения выражений

$$H_{\text{получ}} = \frac{Q}{D} \left[ \frac{1,325(T_w - 32)}{l} \right] + 1,7f; \quad (\text{VIII.4})$$

$$H_{\text{теряем}} = \frac{\Delta t}{\frac{1}{h_f} + \frac{L}{k} + \frac{L'}{k'} + \frac{1}{h_r + h_{cv}}}, \quad (\text{VIII.5})$$

где  $Q$  — расход воды в тыс. галл/сутки;

$H$  — теплоотдача в британских тепловых единицах на фут<sup>2</sup>/час;

$D$  — диаметр трубы в дюймах;

<sup>1</sup> См. также S. D. Bleich, J.A.W.W.A., vol. 18, 1927, p. 564.

<sup>2</sup> T. M. Riddick, Eng. News-Record, November, 9, 1950, p. 38.

<sup>3</sup> О способах предотвращения замерзания в Арктике см. Water Works Eng. February, 1954, p. 130; Eng. News-Record, February 2, 1954, p. 30.

<sup>4</sup> T. M. Riddick, Eng. News-Record, November, 9, 1950, p. 38.

- $T_w$  — температура воды в °F;  
 $f$  — потери на трение в футах на 1 000 футов;  
 $l$  — длина трубопровода в 1 000 футов;  
 $\Delta t$  — температура воздуха ниже 32 F в град. F;  
 $h_f$  — 0,77 E британских тепловых единиц в 1 фут<sup>2</sup>/час град. разницы;  
 $E$  — коэффициент излучения от единицы полного поглощения до нуля полного отражения [45],

$$h_{cv} = h_c \sqrt{w + \frac{0,8}{0,8}};$$

$$h_c = 0,55 \left( \frac{\Delta t}{D} \right)^{0,35},$$

- $w$  — скорость ветра в милях/час;  
 $L$  — толщина стенок трубы в дюймах;  
 $L'$  — толщина слоя изоляционного материала в дюймах;  
 $k$  — теплопроводность стенки трубы, в британских тепловых единицах на фут<sup>2</sup>/час °F на 1 дюйм толщины стенки трубы;  
 $k'$  — теплопроводность изоляционного материала в тех же единицах;  
 $h_f = 202 \frac{V^{0,8}}{D^{0,2}}$  британских тепловых единиц фут<sup>2</sup>/°F, переданное от основной массы воды при температуре 32°F;

$V$  — скорость движения воды в трубе в фут/сек.

Когда вода замерзает, она расширяется с силой, которой не может противостоять никакая труба.

При замерзании объем воды увеличивается приблизительно на  $1/12$ , т. е., например, 12 фут<sup>3</sup> воды дадут 13 фут<sup>3</sup> льда. Вследствие увеличения объема и возникающего при этом давления обычно происходит разрыв трубы. Домовые вводы замерзают чаще, чем магистральные трубы, вследствие небольшого объема воды в них, которая к тому же длительное время находится без движения.

Водопроводные трубы следует укладывать ниже глубины промерзания. Средняя глубина промерзания в США показана на рис. 92<sup>1</sup>. Скорость проникновения в грунт отрицательных температур зависит от продолжительности и величины отрицательных температур воздуха.

Ниже точки промерзания отрицательные температуры проникают более быстро, но менее глубоко в гравийном грунте, чем в плотном глиняном грунте<sup>2</sup>. Дорожные покрытия обычно бы-

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng. November, 1948, p. 1047; R. F. Leggett and C. B. Crawford, J. A. W. W. A., October, 1952, p. 923.

<sup>2</sup> См. также Water Works Eng., May 27, 1936, p. 739; J. Petrica, J. A. W. W. A., November, 1951, p. 911.

вают плохие изоляторы; снег — хороший изолятор. В плохо укрытых местах применяется изоляция, состоящая из нескольких слоев магнезита толщиной каждый 2,5 см, обычно покрытых одним или более слоями толя или листового металла.

18. **Оттаивание замерзших труб**<sup>1</sup>. Оттаивание замерзших труб достигается путем откапывания труб и отогревания их бензиновой горелкой; путем обертывания труб тряпьем и обливания их горячей водой, путем подачи пара на трубу или в трубу или с помощью электричества.

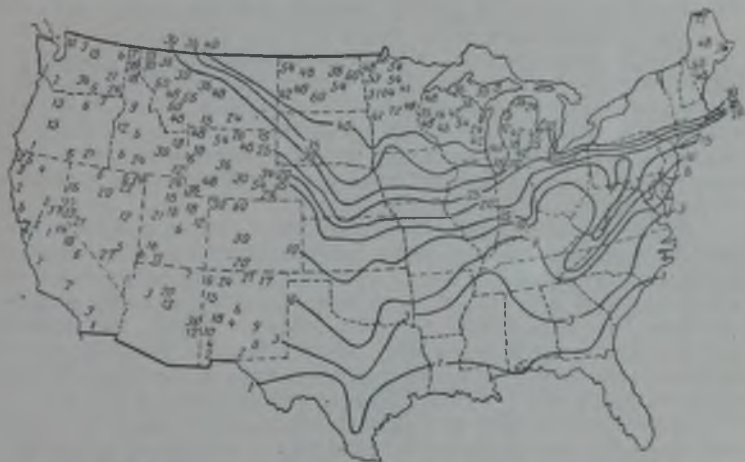


Рис. 92. Глубина промерзания в США за период 1899—1938 гг. (из неофициальных источников, по материалам U. S. Weather Bureau)

Можно отогревать трубы паром под давлением 0,2—0,3 ат, подавая его через небольшую трубу, вставленную в замерзшую трубу. Все способы, кроме применения электричества, обычно связаны с образованием грязи; применение открытого пламени в здании представляет опасность в пожарном отношении.

Оттаивание с помощью электричества<sup>2</sup> происходит быстро, обходится относительно недорого и является обычно безопасным<sup>3</sup>.

Расчет количества тепла, необходимого для электроотгрева, производится по следующей формуле

$$H = I^2 R t, \quad (\text{VIII.6})$$

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng., December, 1948, p. 1136; Am. City, November, 1949, p. 114.

<sup>2</sup> См. также F. C. Amsbury, Jr., Water & Sewage Works, April, 1946, p. R-40.

<sup>3</sup> См. также Water Works Eng., February, 1949, p. 139; January, 1949, p. 51.

где  $H$  — количество тепла в дж;

$I$  — сила тока в а;

$R$  — сопротивление в ом;

$t$  — продолжительность отогрева в сек.

Величина, на которую поднимается температура, зависит от силы тока  $I$  и сопротивления  $R$  трубы на единицу длины. Ток в 100 а нагревает трубу диаметром 1", длиной 1 000 футов так же быстро, как трубу длиной 10 футов, но напряжение будет в 100 раз больше. Некоторые данные относительно силы тока, напряжения, времени и других условий при оттаивании замерзших труб приведены в табл. 34.

Необходимо отметить, что чугун передает тепло очень быстро, а медь — очень медленно. Следует принимать по возможности наименьшую силу тока в соответствии с материалом, из которого изготовлена труба, во избежание плавления свинца в соединениях. Серные соединения не являются препятствием для электрического отогрева труб, хотя и могут потребовать высокого напряжения.

Процесс оттаивания замерзших труб с помощью электричества заключается во включении замерзшей трубы в электрическую цепь, в которой можно регулировать силу и напряжение тока. Для этой цели может быть использовано сварочное оборудование. При оттаивании домовых вводов следует выключить все возможные пути проникновения тока в дом. Одна линия от трансформатора или реостата присоединяется к домовому вводу в месте входа его в подвал. Другая линия может быть присоединена к ближайшему гидранту, к обнаженной точке на домовом вводе позади замерзшего места или к соседнему домовому вводу, отключенному от домовой сети. Стоимость электроэнергии незначительна; она составляет от 1 до 10 центов на оттаянную трубу.

**19. Замерзание гидрантов<sup>1</sup>.** Замерзание гидрантов представляет собой серьезную угрозу для бесперебойной работы водопровода. Для защиты от замерзания они могут быть заключены в быстро снимаемые будки. Этот способ имеет преимущество в том отношении, что верх гидрантов хорошо защищается от снега и льда. Применение противозамораживающих средств нежелательно вследствие возможности загрязнения воды. Гидранты могут замерзнуть вследствие замерзания или засорения спускной трубы, так как в этом случае вода остается в корпусе гидранта. Факт замерзания гидранта можно проверить, опустив небольшой груз, привязанный к веревке, в корпус гидранта через насадку. Разницу в звуке, когда груз достигает воды, льда или седла клапана, легко распознать. Гидранты можно оттаивать<sup>2</sup> с по-

<sup>1</sup> См. также E. T. Cranch, *Water & Sewage Works*, vol. 94, 1947, p. R-87.

<sup>2</sup> См. также *Water Works Eng.*, October, 1949, p. 927; November, 1949, p. 1011.



## Данные по оттаиванию замерзших труб при помощи электричества

Диаметр трубы в дюймах	Материал, из которого сделана труба	Сопротивление в Ом	Длина в футах(ж)	Приблизительное напряжение в в*	Сила тока в а	Продолжитель- ность в мин.	Используемая для нагрева проволока	
							при силе тока а	калибр B.& S.
3/4	Ковкое железо . . .	82,80	600 (183)	60	250	5	200	0
1	То же . . . . .	—	600 (183)	60	300	10	225	00
1 1/2	• . . . . .	—	600 (183)	60	350	10	275	000
2	• . . . . .	—	500 (152)	55	400	15	325	0000
3	• . . . . .	—	400 (122)	50	450	20		
4	Чугун . . . . .	684	400 (122)	50	500	60		
6	• . . . . .	—	400 (122)	50	600	120		
8	• . . . . .	—	300 (91)	40	600	240		
3/4	Медь . . . . .	9,35	400 (122)	40	500	30		
1	• . . . . .	—	400 (122)	40	600	60		
1 1/4	• . . . . .	—	300 (91)	35	600	60		
	Сталь . . . . .	63						
	Свинец . . . . .	123						

Относительное сопротивление металла трубы в Ом на 1 фут длины и 0,001 дюйма диаметра

Металл . . . . .	Медь	Сталь	Ковкое железо	Свинец	Чугун
Сопротивление . . . . .	9,35	63,0	82,8	123,0	684

\* Следует принимать самое низкое возможное напряжение.

мощью поваренной соли (NaCl) или хлористого кальция (CaCl<sub>2</sub>), а также способами, применяемыми для оттаивания замерзших труб. Хлористый натрий и хлористый кальций обычно действуют очень медленно. При электрооттаивании вокруг обнаженной части гидранта наматывают изолированную проволоку,

через которую пропускают ток. Тепло, создаваемое проволочной спиралью, передается вниз через корпус гидранта, растапливая таким образом лед. Оттаивание путем подачи свежего пара в корпус гидранта через рукав производится относительно быстро и обходится недорого при хорошем эффекте. Джекобсон<sup>1</sup> сообщает об оттаивании гидрантов (при крайней необходимости) в среднем за 3 мин. посредством вливания в гидрант концентрированной кислоты. Выделяемое тепло растапливает лед прежде, чем кислота достигает клапана. Когда клапан открывается, то концентрация кислоты в вытекающей воде бывает настолько незначительна, что такая вода совершенно безвредна, если все сделано с должной аккуратностью. Первая струя воды из гидранта может быть подана через рукав в пожарный насос, где вода еще более разбавляется и не приносит уже никакого вреда персоналу и оборудованию.

---

<sup>1</sup> E. E. Jacobson, Water & Sewage Works, April, 1946, p. R-42.

## Глава IX

### ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

**1. Болезни, вызываемые загрязненной водой.** В США после того, как полностью прекратились заболевания холерой и дизентерией, показателем санитарного состояния общин стало состояние в отношении заболеваемости брюшным тифом<sup>1</sup>.

Предполагается, что вода является переносчиком инфекционного воспаления печени<sup>2</sup>, туляремии<sup>3</sup> и, очевидно, полиомиелит может быть такого же происхождения<sup>4</sup>.

По мнению Макси<sup>5</sup>, есть основание думать, что полиомиелит—не водного происхождения. Ленсен<sup>6</sup> утверждает, что вирус полиомиелита может быть инактивирован в воде путем правильного хлорирования. Известно, что купающихся поражает «чесотка пловца» и другие кожные инфекционные заболевания, названные *schistosome dermatitis*.

Возбудителем этих болезней является церкория, свободно плавающая личинка паразитических червей из семейства *schistosomatidae*. Эпидемия амебной дизентерии, имевшая место в Чикаго<sup>7</sup> в 1933 г., привлекла внимание всей нации, вследствие большой ее вспышки и широкого распространения по всей стране.

Эпидемия возникла в результате загрязнения ледяного покрова канализационными водами, прорвавшимися из дефектного временного трубопровода, проходившего в большом отеле Чикаго.

<sup>1</sup> См также A. E. Gorman and A. Walman, J. A. W. W. A., February, 1939, p. 225; J. Am. Med. Assoc., vol. 131, 1946, p. 817; M. N. Baker, Eng. News-Record, Sept, 5, 1946, p. 100.

<sup>2</sup> См. также J. K. Neefe and J. Stokes, Jr. J. Am. Med. Assoc., v. 131, 1946, p. 817; R. E. Trussell, Am. J. Hyg., v. 45, 1947, p. 33; J. D. Farquhar and others, J. Am. Med. Assoc., July 19, 1952, p. 991. J. K. Neefe and others Am. J. Public Health, April, 1947, p. 365.

<sup>3</sup> См. также M. I. Tsareva, Public Health Eng. Abs. May, 1948, p. 23.

<sup>4</sup> См. также R. R. Scobey, Arch. Pediat., v. 63, 1946, p. 567.

<sup>5</sup> См. K. F. Maxcy, J. A. W. W. A., August, 1949, p. 696.

<sup>6</sup> См. S. G. Lensen and others, там же, September, 1946, p. 1069.

<sup>7</sup> См. Natl Insts. Health Bull. 166, 1936.

Гастроэнтерит<sup>1</sup> — брюшное заболевание, причиной которого может быть вода или пища. Оно вызывается бактериями группы salmonella такими же, как *s. typhosa*, вызывающими паратиф, другими организмами или неорганическими раздражителями.

Перенос водой патогенных бактерий, вызывающих особые заболевания, происходит только при исключительных условиях. Доказана возможность смертельных отравлений животных и людей ядовитыми водорослями<sup>2</sup>.

**2. Другие заболевания, вызываемые водой.** К другим болезням, которые могут быть связаны с качеством воды, относятся зуб, отравление свинцом и другими металлами, флюорозис или крапчатая эмаль зубов; зубной кариоз и не специфические кишечные расстройства.

Предполагается, что причиной появления зоба является отсутствие иода в воде. «Одним из самых выдающихся явлений в медицине и хирургии последних лет является открытие того, что зоб может стать причиной появления злокачественной опухоли (рака)»<sup>3</sup>. Количество иода, которое необходимо для сохранения здоровья, так мало, что не обнаруживается обычными санитарными анализами воды и анализами ее минерального состава. Высказывалась мысль о том, что добавка 12 мг на 1 м<sup>3</sup> воды подистого натрия предотвратит появление зоба, что и было испробовано в нескольких местах<sup>4</sup>.

Большое доверие в настоящее время оказывается смеси подистого натрия с обычной столовой солью.

Methemoglobinemia — детская болезнь (иногда со смертельным исходом) — является результатом попадания в организм азотнокислой соли, имеющейся в воде некоторых систем<sup>5</sup>.

Вода, применяемая для приготовления детской пищи, не должна содержать более 10 или, возможно, 20 мг/л соли азотной кислоты.

Свинец достаточно растворим в воде и не представляет угрозу здоровью. Опасность свинцового отравления заключается в том, что человеческий организм стремится сохранить в себе попавший свинец (не выводит его), если количество его превышает 0,3—0,6 мг/сутки<sup>6</sup>. Небольшие количества свинца, если они

<sup>1</sup> См. также A. I. Ross and G. N. Gillespie, Public Health Eng. Abs., October, 1952, p. 30.

<sup>2</sup> См. также D. G. Steyn, там же, July, 1948, p. 24; Handbook of Selected Biological References, p. 9, Public Health, Bibliography Series 8. U. S. Publ. Health Service, 1953.

<sup>3</sup> Из W. Weston, Am. J. Public Health, v. 21, 1931, p. 715.

<sup>4</sup> См. также „Water Works Practice“ American Water Works Association, 1925, p. 275.

<sup>5</sup> См. также G. Walton, Am. J. Public Health, August, 1951, p. 986; R. L. Faucett and H. C. Miller, J. Pediat., November, 1946, p. 593; M. Ferrant, там же, p. 585.

<sup>6</sup> См. также R. A. Kehoe, Abstract. J. A. W. W. A., January, 1948, p. 101.

принимаются регулярно, могут сохраняться в организме до некоторого времени, пока не скопится их такое количество, которое вызывает свинцовое отравление.

Неспособность организма выводить свинец<sup>1</sup> является не совсем проверенной, но опасность отравления свинцом вполне реальна. Так как содержание свинца в воде 0,5 мг/л считается опасным для здоровья, то применение питьевой воды, которая имеет контакт со свинцом, считается властями некоторых штатов опасным. Ни свинцовые, ни цинковые краски не должны применяться для окраски поверхностей, находящихся в контакте с питьевой водой. Предпочитают асфальтовые, силикатные и эмалевые краски.

К числу других металлов, присутствие которых в воде в слишком большой концентрации может нарушить обмен веществ в организме и вызвать заболевание, относятся медь, цинк и железо. Однако физиологическое влияние небольших количеств этих металлов, находящихся в естественных водах или растворенных в воде трубопровода или резервуара, могут быть скорее полезны для здоровья, чем вредны.

Кишечные расстройства являются результатом присутствия в воде избыточного количества сернистого магния, других щелочных веществ, нежелательных органических веществ, или даже результатом отсутствия некоторых веществ, к которым организм уже привык<sup>2</sup>.

Встречается гастроэнтерит, который, по некоторым признакам, является результатом загрязнения воды. Существует авторитетное мнение, что в настоящее время нет еще определенных сведений о том, что бактерии, вызывающие это физиологическое расстройство, находятся в воде<sup>3</sup>.

В заключение следует также сказать, что если степень жесткости воды такова, что ее можно использовать для хозяйственных нужд, никаких физиологических расстройств не произойдет от питья такой воды<sup>4</sup>.

**3. Флюорозис, фториды и фторирование воды.** Присутствие небольшого количества фтористых соединений в питьевой воде желательно для предупреждения зубного кариоза<sup>5</sup>, а максимальное количество ограничивается необходимостью предотвращения флюорозиса, т. е. повреждения эмали зубов. Необходимо отметить частые случаи повреждения зубов в период их прорезывания в детстве, вызываемые действием фтора или фторидов. Неизвестны случаи, чтобы нормально образовавшиеся зубы становились крапчатыми после прорезывания<sup>6</sup>. Флюорозиса можно избежать,

<sup>1</sup> См. также S. S. Negus, Water Works Eng. March, 2, 1938, p. 266

<sup>2</sup> См. также S. S. Negus, J. A. W. W. A., February, 1937, p. 1137.

<sup>3</sup> См. также Symposium, там же, August, 1937, p. 1137.

<sup>4</sup> См. также S. S. Negus, Water Works Eng. March, 2, 1938, p. 266.

<sup>5</sup> См. также G. J. Cox, J. A. W. W. A., November, 1939, p. 1926.

<sup>6</sup> См. также Smith, Lank and Smith, Univ. Ariz. College Agr. Tech. Bull., 32, June 10, 1931; J. H. Rider, J. A. W. W. A., November, 1935, p. 1516



если пользоваться естественной водой с низким содержанием фторидов, а в некоторых местностях путем удаления избыточного количества фторидов из воды.

Добавление фторидов к воде, известное как обработка фтором (фторирование), широко практикуется<sup>1</sup>.

Вопрос о целесообразности добавки фторидов к воде стал предметом широкого обсуждения, закончившегося одобрением со стороны многих научных организаций<sup>2</sup>. В некоторых городах<sup>3</sup> фториды добавляются в воду для поддержания оптимальной концентрации (1,0 мг/л) эквивалентного фтора. Было доказано, что при такой концентрации не создается никакого привкуса<sup>4</sup>. В табл. 35 приведены некоторые сведения о реагентах и оборудовании, которые применялись при обработке фтором.

Таблица 35

Химикалии, используемые при обработке фтором воды городских водопроводов

(по данным государственного департамента здравоохранения в Иллинойсе)

Химикалии	Растворимость (при 25°C) в г на 100 мл	Доза реагента, необходимая для получения концентрации фтора в воде 1 мг/л в мг/л	Добавка реагента в виде
Фтористый натрий (NaF) при 42,5% чистого фтора* . .	26	2,4	порошка
Фтористый натрий (NaF) при 44,4% чистого фтора . .	26	2,3	"
Фторосиликат натрия (Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> ) при 60% чистого фтора . .	4,9	1,7	"
Кремнистофтористоводородная кислота 30% H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> при 23% чистого фтора . . . . .	22,7	4,2	раствора

\*) По техническим условиям Американской водопроводной ассоциации: 5W1, 90T или B701-50T, J.A.W.W.A., September, 1950, p. 897.

Дополнительно к химикалиям, указанным в табл. 35, с 1951 г. стали применять патентованное вещество «Флюораль»<sup>5</sup>. Оно обладает свойствами, позволяющими применять его одновременно для обработки фтором и для флокуляции воды.

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng. Sept., 1952, p. 84; Census of Plants Using Fluoridation, J. A. W. W. A., June, 1952, p. 553; August, 1953, p. 893; H. C. Medbery, там же, July, 1953, p. 745; Committee Report, там же, September, 1954, p. 920.

<sup>2</sup> См. также J. A. W. W. A., July, 1949, September, 1951, p. 672; January, 1952, p. 1; April, 1953, p. 376, 387.

<sup>3</sup> См. также L. F. Menczer, Am. J. Public Health, November, 1952, p. 1414.

<sup>4</sup> См. также Water Works Eng, February, 1953, p. 126.

<sup>5</sup> См. также W. E. White, J. A. W. W. A., January, 1952, p. 71.

Применение фторидов и обращение с ними, главным образом с фтористым натрием<sup>1</sup>, требуют специальных механизмов и должны производиться с осторожностью, вследствие наличия пыли, вредной для человека.

На большинстве водопроводных сооружений применяются механизмы сухой подачи; они сходны с механизмами, описанными в главе XII.

**4. Государственный контроль за качеством воды.** Вопросами качества воды занимаются многие федеральные агентства разного типа. В табл. 36 указаны названия этих агентств и сведения относительно их деятельности.

Стандартные качества воды в городских водопроводах, пользующихся междуштатными источниками, одобрены службой здравоохранения США, оказывающей благотворное влияние на качество воды в большинстве городских водопроводов.

Хотя служба здравоохранения и не имеет законного права контролировать качество воды в местных городских водопроводах, ее благотворное влияние, моральный эффект, вследствие возможности запрещения пользования источником междуштатного значения, обычно является достаточным, чтобы заставить владельцев водопроводных сооружений заботиться о высоком качестве воды.

В большинстве штатов и районов контроль за качеством воды возложен законом на отделы здравоохранения штата или района. Согласно этим законам, качество воды, режим работы водопроводных сооружений и проекты реконструкции или расширения водопроводных сетей подлежат рассмотрению отделом здравоохранения.

В большинстве крупных городов ответственность за качество воды возложена на местные власти, ведающие делом здравоохранения, или на управление водопроводными сооружениями.

**5. Стандарты качества воды.** Попытки установления стандарта качества воды, обязательные для всех систем водоснабжения, предпринимались неоднократно, но, как показала практика, они часто не были пригодными для всех условий.

Между тем существует большая необходимость в стандартах, приемлемых и обязательных для всех.

Широко распространенное добровольное признание стандартов службы здравоохранения США на качество воды в междуштатных системах водоснабжения является указанием на всеобщее желание иметь определенную форму оценки качества воды. Некоторые данные о качестве сырой воды, годной для использования после очистки в городских водопроводах и для купания, опубликованные Службой контроля за загрязнением воды штата Калифорния<sup>2</sup> приведены в табл. 37.

<sup>1</sup> См. также Water Works Eng. April, 1952, p. 331.

<sup>2</sup> См. "Water Quality Criteria", опубликовано в Сакраменто, Калифорния, 1952.

Федеральные агентства, имеющие отношение в настоящее время или ранее к городским или сельским системам водоснабжения\*

Агентства	Городские	Сельские
Бюро сельскохозяйственной техники (Департамент сельского хозяйства) . . . . .	—	DS
Служба по лесонасаждениям (Департамент сельского хозяйства) . . . . .	—	DSC
Служба по защите грунтов (Департамент сельского хозяйства) . . . . .	—	DSC
Отдел пастбищ (Департамент внутренних дел) . . . . .	—	DSC
Общее земельное управление (Департамент внутренних дел) . . . . .	DSR	DSR
Отдел национальных парков (Департамент внутренних дел). Управление по делам Индийских племен . . . . .	—	DSC
Геологический надзор Соединенных штатов . . . . .	DS	DS
Пограничная комиссия Соединенных штатов, Мексика (Государственный департамент) . . . . .	SCR	—
Международная объединенная комиссия (Государственный департамент) . . . . .	SR	—
Служба здравоохранения (Федеральное агентство безопасности) . . . . .	SR	—
Инженерный корпус (Государственный департамент)	S	—
Аварийные защитные работы (самостоятельные агентства) . . . . .	C	C
Комитет по национальным ресурсам . . . . .	S	S
Панамский канал (самостоятельные агентства) . . . . .	DSC	—
PWA (Самостоятельные агентства) . . . . .	C	C
RFC . . . . .	C	
WPA . . . . .	C	C
Службы по делам торговли и защиты (B. and D.S.A). Департамент торговли . . . . .	—	—

\* См. J.A.W.W. A., January, 1954, p. 41.

Примечания. D — сбор данных.

C — руководство строительством.

R — регулирование не федеральной деятельности.

S — продолжение изучений и исследований.

## Требования к качеству свежей воды\*

Показатели	При использовании для хозяйственных нужд	При использовании для мытья или купания
Число бактерий в 1 мл:		
оптимальный максимум . . . . .	1,0	Не должно быть
максимум . . . . .	50	1,0
БПК мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	Не должно быть	5
максимум . . . . .	0,5	10
Растворенный кислород в мг/л:		
оптимальный минимум . . . . .	5	5
минимум . . . . .	2	2
Масла в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	Не должно быть	Не должно быть
максимум . . . . .	2	2
рН:		
оптимальный . . . . .	6,8—7,2	6,8—7,2
критический . . . . .	6,6—8,0	6,5—8,6
Мутность в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	5	5
максимум . . . . .	20	20
Цветность в град:		
оптимальный максимум . . . . .	10	10
максимум . . . . .	30	30
Взвешенные вещества в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	10	50
максимум . . . . .	100	100
Плавающие вещества в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	Не должно быть	Не должно быть
максимум . . . . .	—	gross [46]
Общее количество твердых веществ в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	500	—
максимум . . . . .	1 500	—
Хлориды в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	250	—
максимум . . . . .	750	—

\* Из „Water Quality Criteria“ State Water Pollution Control Board, Sacramento, Calif, 1952.

Показатели	При использовании для хозяйственных нужд	При использовании для мытья или купания
Фториды в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	0,5—1,0	—
максимум . . . . .	1,5	—
Ядовитые металлы в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	Не должно быть	0,1
максимум . . . . .	0,5	5
Фенол в мг/л:		
оптимальный максимум . . . . .	0,001	0,005
максимум . . . . .	0,05	0,050
Жесткость в мг-экв/л:		
оптимальный максимум . . . . .	2	—
максимум . . . . .	5	—
Температура в град. С (максимум)	15,5	18,3
Запах (неприятный) максимум, . . .	Заметный	Заметный
Вкус (неприятный) максимум . . . . .	.	.

Примечание. Оптимальный максимум означает желательный максимум. Максимум и минимум означают допускаемый максимальный или минимальный предел.

Стандарты качества воды можно разделить на три вида<sup>1</sup>:

- 1) стандарт для воды исключительно большой естественной чистоты<sup>2</sup>;
- 2) для чистой воды из санитарной охранной зоны<sup>3</sup>;
- 3) стандарт на предельное содержание посторонних веществ, допускаемое в воде<sup>4</sup>.

Ниже приведены выдержки из стандартов на питьевую воду для междуштатных систем водоснабжения, одобренных Службой здравоохранения США<sup>5</sup>.

1. Определение терминов. Стандартная порция воды для бактериологического анализа должна составлять 10 или 100 мл. Стандартные пробы для бактериологического анализа могут состоять из пяти порций любого из указанных количеств. Если проба, составленная для бактериологического анализа, взята из дезинфицированного источника, то дезинфекционное вещество должно быть удалено из нее в течение 20 мин. со времени взятия пробы.

<sup>1</sup> См. J. J. Hinman, J. A. W. W. A., v. 7, p. 281, 1915.

<sup>2</sup> См. Public Health, Michigan, v. 7, p. 9, January-March 1912.

<sup>3</sup> См. R. Haynes, J. Anal. & Applied Chem, v. 5, 1891, p. 289.

<sup>4</sup> См. Drinking Water Standards, J. A. W. W. A., March, 1946, p. 361; там же, January, 1949, p. 3.

<sup>5</sup> См. J. A. W. W. A., March, 1946, p. 361.



## Качество воды, требуемое для некоторых отраслей промышленности\*

Показатели	Пивоваренная промышленность	Текстильная промышленность	Производство крафт-бумаги отбеленной**	Производство льда
Цветность в град. . . . .	0—10	5—70	25	5
Мутность в мг/л . . . . .	0—10	0,3—25	40	1—5
Привкус и запах . . . . .	Полное отсутствие или следы	—	—	Полное отсутствие или следы
Растворенные твердые вещества в мг/л . . . . .	500—1 000	—	300	170—1 300
pH . . . . .	6,5—7,0	—	—	—
Щелочность в мг-экв/л				
светлое пиво . . . . .	1,5—1,6	—	—	—
темное пиво . . . . .	1,6—3,0	—	1,5***	—
Fe в мг/л . . . . .	0,1—1,0	0,1—1,0	0,2	0,03—0,2
Mn . . . . .	—	0,5—1,0	0,1	0,2
Fe—Mn в мг/л . . . . .	—	0,2—1,0	—	0,2
Жесткость в мг-экв/л	—	0—1,0	2	1,4—1,44
Потребление кислорода в мг/л . . . . .	—	—	—	3
Кремнекислота в мг/л . . . . .	—	—	—	10
Фториды в мг/л . . . . .	—	—	—	1
MgSO <sub>4</sub> . . . . .	—	—	—	130—300
MgCl . . . . .	—	—	—	171—300
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	—	50
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	—	—	—	300
CaCl <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	300
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	—	—	—	300
NaCl . . . . .	—	—	—	300
ХПК . . . . .	—	8	—	—
Тяжелые металлы в мг/л:	—	0	—	—
Ca . . . . .	—	10	—	—
Mg . . . . .	—	5	—	—
SO <sub>4</sub> . . . . .	—	100	—	—
Хлориды в мг/л . . . . .	—	100	—	—
Бикарбонат в мг/л . . . . .	—	200	—	—

\* Из Water Quality Criteria, State Water Pollution Control Board, Sacramento, Calif., 1952.

\*\* Дополнительные ограничения; кремнезем 50 мг/л, сульфат 220 мг/л, свободный CO<sub>2</sub>—10 мг/л.

\*\*\* Метилоранжевая щелочность.

Качество воды, требуемое для питания котлов\*

Характеристика	При давлении 0—10,5 ат	При давлении 10,5—17,5 ат	При давлении 17,5—28 ат	При давлении свыше 28 ат
Цветность в град. . . . .	80	40	5	2
Потребление кислорода в мг/л . . . . .	20	10	5	1
Количество растворенно- го кислорода в мг/л . . . . .	1,4	0,14	0	0
Сероводород в мг/л . . . . .	5	3	0	0
Общая жесткость СаСО <sub>3</sub> в мг/л . . . . .	80	40	10	2
Отношение сульфата к карбонату . . . . .	1:1	2:1	3:1	3:1
Окись алюминия в мг/л . . . . .	5	0,5	0,05	0,01
Кремнезем в мг/л . . . . .	40	20	5	1
Бикарбонаты в мг/л . . . . .	20	20	5	0
Карбонаты . . . . .	200	100	40	20
Гидроокись . . . . .	50	40	30	15
Общее количество взве- шенных веществ** . . . . .	3 000—500	2 500—500	1 500—100	50
Минимальный рН . . . . .	8,0	8,4	9,0	9,6

\* Из „Water Quality Criteria“, State Water Pollution Control Board, Sacramento, Calif, 1952.

\*\* В зависимости от конструкции котла.

2. Источник и защита его. Водоснабжение должно осуществляться: из незагрязненного источника, из источника с соответствующим образом очищенной водой естественным путем или из источника с водой, очищенной путем искусственной обработки. Все дефекты санитарного характера во всех частях водопроводной системы должны быть устранены.

3. Бактериальное качество воды. Из всех стандартных порций в 10 мл, исследуемых ежемесячно, не более чем в 10%, допускается присутствие бактерий коли. Из всех порций в 100 мг, исследуемых ежемесячно, не более, чем в 60% допускается присутствие организмов этой группы.

Физические свойства. Мутность не должна превышать 10 мг/л (по кремнеземистой шкале), а цветность не должна превышать 20° (по кобальтовой шкале). Вода не должна иметь неприятного привкуса или цвета.

Химические свойства. Присутствие свинца в количестве больше 0,1 мг/л, фтористых соединений — более 1,5 мг/л, мышьяка — более 0,05 мг/л, селена — более 0,05 мг/л, шестивалентного хрома — более 0,05 мг — является основанием для запрещения использования данного источника водоснабжения. Не следует добавлять в водопроводную систему для обработки воды соли бария, шестивалентного хрома, глюкозидов, тяжелых металлов или других ядовитых веществ.

Если имеется возможность выбора источников, то должны быть выбраны такие, чтобы в их естественной или обработанной воде содержание ниже перечисленных химических веществ не превышало следующих концентраций.

Cu — 3,0 мг/л; Fe и Mn — 3,0 мг/л; Mg — 125 мг/л; Zn — 15 мг/л; хлоридов — 250 мг/л; сульфатов — 250 мг/л.

Фенольные соединения не должны превышать 0,001 мг/л по фенолу. Общее количество взвешенных частиц не должно превышать 500 мг/л в воде хорошего химического качества.

Однако, если такой воды нет, то допускается общее содержание взвешенных частиц 1 000 мг/л.

**6. Требования к качеству воды в системах промышленного водоснабжения<sup>1</sup>.** Качество питьевой воды не всегда является удовлетворительным для промышленного водоснабжения. Качество воды, требуемое для некоторых отраслей промышленности, указано в табл. 38<sup>2</sup> и 39<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> См. также S. T. Powell, J. A. W. W. A., January, 1948, p. 8 и исчерпывающее резюме в „Water Quality Criteria“ State Water Pollution Control Board, Sacramento, Calif., 1952.

<sup>2</sup> См. также „Water in Industry“ National Association of Manufacturers, New York, December, 1950; E. Nordell, „Water Treatment for Industrial Purposes“ Reinhold Publishing Corporation, New York, 1951; G. M. Fair and J. C. Geyer, „Water Supply and Waste Water Disposal“, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1954.

<sup>3</sup> См. более полную таблицу в „Water Quality and Treatment“, p. 66, American Water Works Association, 1950.

## Глава X

### ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ

**1. Желательные качества воды для разных нужд.** В табл. 40 приведены все химические вещества, присутствие которых в воде желательно или нежелательно. Эти данные следует рассматривать только как предлагаемые.

**2. Температура.** Наиболее желательная температура воды в городском водопроводе от 4,5 до 10°. Природные воды редко имеют температуру ниже 4,5°. При температуре более 10° вода становится менее вкусной и менее пригодной для некоторых видов применения, например для кондиционирования воздуха. Температура выше 27° нежелательна, а при температуре выше 32—35° вода становится непригодной для городского водоснабжения.

**3. Цветность.** Стандарты Службы здравоохранения США ограничивают интенсивность окраски воды 20°, но предпочтительно, чтобы она была меньше 10°.

**4. Мутность.** Мутность больше 5 мг/л может быть заметна для потребителя, если вода находится в белой эмалированной посуде. Мутность природной поверхностной воды может колебаться от 1 до 1 000 мг/л. Стандарты Службы здравоохранения США ограничивают допускаемую мутность 5 мг/л и, как высший предел, 10 мг/л. Мутность менее 0,1 мг/л может быть получена путем обработки воды.

Изменения в мутности сырой воды на установках для обработки воды могут произойти внезапно в результате какого-либо нежелательного влияния на процесс обработки. «Электрический глаз» предупреждает оператора об изменениях мутности и сигнализирует о необходимости изменения работы установки<sup>1</sup>.

**5. Запахи и привкусы<sup>2</sup>.** Запахи и привкусы в воде могут явиться результатом одной или нескольких причин, например, присутствия живых или мертвых микроорганизмов, растворенных

<sup>1</sup> См. также Water and Water Eng., July 20, 1933, p. 457; D. D. Gross Eng., News-Record May, 21, 1931, p. 865

<sup>2</sup> См. также A. M. B u s w e l l, Ind. Chem, Sales, 1947.

Минеральные вещества, присутствие которых в воде желательно  
или нежелательно

(величины приведены в мг/л)

Использование воды	Желательно или допустимо			Нежелательно или недопустимо		
Хозяйственные нужды, питье и приготовление пищи	Ca 30 HCO <sub>3</sub> 150	Mg 10 J 0,01	Si 5	CO <sub>3</sub> 20 Fe 0,5	SO <sub>4</sub> 100 F 0,1	Cl 200
Мытье	Na 10	HCO <sub>3</sub> 60		Ca 10 SO <sub>4</sub> 500	Mg 5 Fe 0,1	Cl 500
Прачечные	Нет			Все		
Орошение	Ca 40	Mg 20		Na 10 CO <sub>3</sub> 10	Cl 100 B 0,2	SO <sub>4</sub> 200
Текстильная промышленность	Нет или очень мало			Ca 10 Cl 100	Mg 5 HCO <sub>3</sub> 200	SO <sub>4</sub> 100 Fe 0,1
Сахарное производство	Нет			Ca 20 Cl 20	Mg 10 HCO <sub>3</sub> 100	SO <sub>4</sub> 20 Fe 0,1
Керамическое производство	Na 50	HCO <sub>3</sub> 200		SO <sub>4</sub> 20	Cl 20	
Паровые котлы	Нет			Ca 5 HCO <sub>3</sub> 100	Mg 5 Cl 100	SO <sub>4</sub> 100



газов (сероводорода, метана, углекислого газа, кислорода), органических веществ, минеральных веществ (хлористого натрия, соединений железа и карбонатов, сульфатов и других элементов), а также фенолов<sup>1</sup> и других смолистых и нефтяных веществ, особенно после хлорирования. Некоторые привкусы, например такие, которые обуславливаются присутствием растворенного кислорода или углекислоты, желательны.

Характерные лекарственный и фенольный привкусы, ощущаемые в слабых концентрациях порядка 0,001 мг/л, усиливаются при хлорировании и трудно удалимы.

Привкусы могут появиться в процессе обработки, например в результате хлорирования, или в результате реакции с веществами, имеющимися в водопроводных распределительных трубах, например, с асфальтовыми или битумными покрытиями, или в резервуарах.

**6. Удельная проводимость воды.** Удельная проводимость воды<sup>2</sup> представляет собой обратную величину сопротивления (в ом) столба воды высотой 1 см с поперечным сечением 1 см<sup>2</sup> при определенной температуре, обычно 25°C. Она обычно выражается в обратных омах. Удельная проводимость используется как показатель качества воды, особенно в химической и минеральной промышленности, при исследовании загрязненной воды, при некоторых процессах обработки и при исследовании промышленных сточных вод. «Вообще, кроме равнин и пустынь, удельная проводимость пресной воды в водоемах внутренних районов, богатых рыбной фауной, составляет от 150 до 500 · 10<sup>-6</sup> обратных омов при температуре 25°»<sup>3</sup>. Дорсей<sup>4</sup> считает, что «удельная проводимость чистой воды при температуре 25°C составляет, приблизительно, 5,5 · 10<sup>-8</sup> обратных омов; чистой дождевой воды при температуре 17,6°—128 · 10<sup>-6</sup> обратных омов и морской воды при температуре 25°—около 500 · 10<sup>-4</sup> обратных омов».

**7. Санитарный химический анализ.** В санитарном химическом анализе воды проводятся только те испытания, которые характеризуют качество воды в санитарном отношении.

Общая характеристика качества воды в санитарном отношении приводится в табл. 41. Классификация грунтовых вод в отношении их качества приведена в табл. 42.

**8. Кислотность, щелочность и соленость.** Кислотность воды обычно считается нежелательной при городском водоснабжении, потому что естественные воды обычно бывают щелочные. Однако небольшая кислотность питьевой воды не вредна для здоровья. Никаких стандартов, ограничивающих кислотность или щелочность питьевой воды, не существует.

<sup>1</sup> См. также Panel Discussion., J. A. W. W. A., May, 1953, p. 491.

<sup>2</sup> См. также L. V. Wilcox, Pure Water, August, 1950, p. 775.

<sup>3</sup> См. также Ellis and others, Determination of Water Quality, U. S. Fish & Wildlife Service, Research Rept. 9, 1948.

<sup>4</sup> P. E. Dorsey, „Properties of Ordinary Water Substance“, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1940.

### Характеристика воды в санитарном отношении по средним данным в условиях Пенсильвании

Показатель	Хорошая вода	Удовлетворительная вода	Подозрительная вода	Сточная вода (средней загрязненности)
Цветность в град. . . . .	0	0—5	5 и более	Сильная
Запах . . . . .	Нет	Незначительный	Заметный	Сильный
Мутность в мг/л . . . . .	0—0,2	0,2—1,0	1,0 и более	50 и более
Щелочность в мг-экв/л	0,1—2,0	0,1—2,5	Ниже 0,1 или выше 2,5	1,0—3,0
Жесткость . . . . .	0,1—1,0	0,1—2,5	Ниже 0,1 или выше 2,0	—
Углекислота в мг/л . . . . .	1—5	5—10	10 и более	—
pH . . . . .	6,0—7,2	6,0—7,5	Ниже 6,0 или выше 7,5	5,0—8,0
Общее количество твердых веществ в мг/л . . . . .	10—50	10—100	100 и более	200—1 500
В % от общего количества твердых веществ:				
растворенных . . . . .	100—96	96—90	90 и ниже	75—25
взвешенных . . . . .	0—4	4—10	10 и более	25—75
улетучивающихся . . . . .	0—10	10—20	20 и более	25—75
неулетучивающихся	100—90	90—80	80 и ниже	25—75
Хлориды в мг/л . . . . .	1—2	2—5	5 и более	20—150
Потребление кислорода в мг/л . . . . .	0—0,1	0,1—1,5	1,5 и более	25—125
Азот в мг/л:				
аммонийный . . . . .	0,002—0,02	0,02—0,05	0,05 и более	5—50
альбуминоидный . . . . .	0,010—0,05	0,05—0,1	0,100 и более	7—35
Соли азотной кислоты в мг/л . . . . .	0,000—0,001	0,001—0,003	0,003 и более	0—0,2
Нитраты в мг/л . . . . .	0,00—0,10	0,10—0,50	0,50 и более	0—10
Железо . . . . .	0,0—0,1	0,1—0,3	0,3 и более	—
Марганец в мг/л . . . . .	0,0—0,1	0,1—0,2	0,2 и более	—
Растворенный кислород в % . . . . .	100	90—100	90 и ниже	0

## Классификация грунтовых вод\*

Показатели	Класс АА (отличная 1, 2, 3)**	Класс А (хорошая 1, 2, 3)**	Класс В ограничено (2, 3), плохая (1), даже если обработана	Класс С (неудовлетворительная, 1, 2, 3)**
Бактерии коли на 100 мл (наиболее вероятное количество) . . . . .	< 100 (1)	< 1 000 (1)	< 10 000 (1, 2)	< 10 000 (1, 2)
Нитратное отношение . . . . .	< 35 (1, 2)	35—50 (2)	50—80 (1, 2, 3)	80 (2, 3)
Цветность в град	< 10 (1)	< 20 (1)		
Мутность в мг/л	< 5 (1)	< 10 (1)		
Ядовитые минералы в мг/л . . .	< 0,05 (1)	< 0,05 (1)	< 0,05 (1, 2)	1,0 (2)
Тяжелые металлы в мг/л . . . .	< 5,0 (1)	< 5,0 (1)	< 10,0 (1, 2)	10,0 (2)
Железо в мг/л	< 0,1 (1)	< 0,25 (3)		
Фенольные соединения в мг/л .	Нет (1)	< 5,0 (1)	< 25	> 25
Магний в мг/л .	< 15 (1)	< 125 (1)	> 125 (1, 3)	
Фториды в мг/л	0,5—1,0 (1)	0,5—1,0 (1)	> 1,0 (1)	
Общее количество твердых частиц в мг/л . . .	< 300 (2)	< 500 (1)	500—1 500 (1, 2)	> 3 000 (2, 3)
Хлориды в мг/л	< 100 (2)	< 250 (1)	500—800 (2)	> 800 (2, 3)
Сульфаты в мг/л	< 100 (2)	< 250 (1)	500—800 (2)	> 800 (2, 3)
Бикарбонат натрия в мг/л . . . . .	0 (1)	0—50 (2)	50—100 (2)	> 100 (2, 3)
Бор в мг/л . . .	< 0,5 (2)	0,5—1,0 (2)	1,0—1,0 (2)	> 5,0 (2)

\* Из R. F. Goudey, J. A. W. W., A., October, 1947, p. 1010.

\*\* Существуют ограничительные требования при использовании: 1 — для хозяйственных, 2 — для ирригационных и 3 — для промышленных целей.

Щелочность естественных вод обычно обуславливается наличием карбоната натрия и бикарбонатов кальция и магния. Едкая щелочность, вызываемая гидроокисью, является нежелательной. Она редко встречается в естественных водах.

Соленость обуславливается присутствием нейтральных солей таких, как хлориды и сульфаты кальция, магния, натрия и калия.

**9. Алюминий.** Соединения алюминия, встречающиеся в естественных водах, а также попадающие в воду вследствие использования алюминиевой посуды, не имеют патологического значе-

ния. В воде, обработанной должным образом, с применением соединений алюминия (сернистого алюминия), содержится меньше алюминия, чем в необработанной воде, вследствие нерастворимости образовавшихся соединений алюминия и невозможности их удаления путем осаждения и фильтрации.

**10. Мышьяк.** Несмотря на широкое применение соединений мышьяка для опрыскивания посевов, мышьяк редко встречается в естественных водах. Стандарты Службы здравоохранения США ограничивают содержание мышьяка  $0,05 \text{ мг/л}$ , а британские стандарты— $0,2 \text{ мг/л}$ .

**11. Бор.** Присутствие менее  $30 \text{ мг/л}$  бора в питьевой воде допустимо. Некоторое количество бора необходимо для продления срока службы самой установки. В США известно всего лишь несколько городских водопроводов с содержанием бора около  $1,5 \text{ мг/л}$ .

**12. Соли кальция, магния и натрия.** Содержание этих веществ в воде не имеет значения в санитарном отношении, но они могут сделать воду непригодной для хозяйственных и промышленных целей.

Соединения кальция, чаще всего встречающиеся в естественных водах, поступают из известняка, гипса и хлористого кальция. Известняк растворим в воде до  $13 \text{ мг/л}$ . В присутствии углекислоты растворимость карбоната кальция может увеличиться до  $1\ 000 \text{ мг/л}$ .

Гипс ( $\text{CaSO}_4$ ) растворим в воде до  $2\ 000 \text{ мг/л}$ , а хлористый кальций ( $\text{CaCl}$ ) обладает такой высокой растворимостью, что делает воду непригодной для питья задолго до того, как наступает насыщение. Соли магния действуют на людей, не привыкших к ним, как слабительное. Стандартами Службы здравоохранения США содержание магния ограничивается  $125 \text{ мг/л}$ . Соединения магния встречаются в соединении с 5—20%-ной концентрацией кальция. Натрий обычно встречается в глубоких грунтовых водах или в неглубоких водах у берега моря. Он обычно встречается в виде хлористого натрия.

**13. Углекислота.** Присутствие углекислоты в воде может быть результатом разложения органических веществ или метаболизма некоторых организмов. При этом растворенный кислород превращается в углекислоту.

Этим объясняется общее положение, что по мере увеличения содержания углекислоты уменьшается содержание растворенного кислорода. Поэтому высокое содержание углекислоты может указывать на биологическую деятельность, а высокое содержание растворенного кислорода—на высокую степень чистоты воды. Однако это не всегда верно, так как некоторые организмы выделяют кислород; кроме того, грунтовые воды с высоким содержанием углекислоты могут попадать в открытые водоемы из подводных родников, увеличивая таким образом содержание

углекислоты в воде, но не оказывая влияния на ее санитарное состояние.

Растворенная свободная углекислота может встречаться в грунтовых водах в количестве до 50 мг/л, хотя обычные концентрации ее гораздо меньше (в поверхностных водах они составляют около 0,5—2,0 мг/л).

Присутствие углекислоты в воде желательно в концентрациях, необходимых для карбонатного равновесия, как это указано в главе XVI п. 23. Углекислота в такой концентрации придает воде приятный вкус и влияет на растворимость карбонатов, благодаря чему на металлических поверхностях образуется легкая пленка, которая может защищать их от коррозии.

**14. Хлориды.** Присутствие хлоридов в концентрации большей, чем она бывает в естественных водах района, является указанием на загрязнение воды.

Растворимые хлориды обычно не поддаются воздействию биологических процессов и их можно уменьшить главным образом путем разбавления, хотя стандарты Службы здравоохранения США органичивают содержание хлоридов до 250 мг/л. Более высокие концентрации не имеют значения в патологическом отношении, а концентрации до 700 мг/л не придают воде привкуса, который можно было бы чувствовать.

**15. Хлор.** Растворенный свободный хлор в естественных водах не встречается. Его присутствие в обработанной воде является результатом дезинфекции хлором. Обычно остаточный хлор составляет около 0,1—0,2 мг/л. Остаток выше 2 мг/л может дать неприятный привкус.

**16. Хром.** Присутствие хрома указывает на загрязнение воды промышленными сточными водами, так как соединения этого металла не встречаются в естественных водах. Стандартами Службы здравоохранения США допускается максимальное содержание хрома 0,05 мг/л в водоеме, выбранном в качестве источника водоснабжения.

**17. Коллоиды.** Коллоиды могут влиять на качество сырой воды, на коагуляцию и фильтрацию.

Вещества в воде могут быть диспергированы до степени истинного раствора, коллоидной суспензии и истинной суспензии. Частицы раствора разделяются по размеру на частицы «коллоидного раствора» или золя и частицы суспензии. Мельчайшие частицы золя, которые могут проходить между более крупными частицами, называются однородной фазой или, часто, дисперсной средой, а более крупные частицы составляют дисперсную фазу. Например, дым представляет собой коллоидное вещество или золь, в котором атмосфера является дисперсной средой, а мельчайшие частицы угля в дыме составляют дисперсную фазу. Активированный уголь может рассматриваться как пример золя, в котором дисперсной средой является газ, а дисперсной фазой—уголь.



Предполагается, что коллоидные частицы имеют размеры, не превышающие 1  $\mu\text{к}$  и приближающиеся к размеру молекулы, т. е. 0,1—0,5  $\text{мк}$ . Существование таких частиц можно проследить по появлению конуса Тиндаля и по броуновому движению. Присутствие коллоидных частиц можно обнаружить с помощью конуса Тиндаля и по тому факту, что они почти не оказывают влияния на точки кипения и замерзания дисперсной среды. Коллоиды диффундируют очень медленно, не проходят через пергаментную бумагу и не осаждаются.

Лучшее представление о причине особых реакций коллоидов можно получить с помощью теории об удельной поверхности коллоида, т. е. об отношении его поверхности к объему. Если бы кубический сантиметр можно было разделить на мельчайшие коллоидные части в виде кубов, со стороной, равной 0,1  $\text{мк}$ , то общая площадь поверхности таких кубов составила бы 600 000 000  $\text{см}^2$ , или 6 га.

Предполагается, что при такой огромной поверхности, находящейся в соприкосновении с однородной фазой, характерные реакции произойдут в золе (суспензоиде).

Суспензоид или золь, в котором вода является дисперсной средой, а частицы глины, кремнезема или осевших химикалий—дисперсной фазой, представляет собой наиболее распространенную форму коллоида, встречающегося при очистке воды. Суспензоиды можно осаждают путем добавки электролита, путем изменения концентрации дисперсной фазы или с помощью электричества. Электрические заряды коллоидов, очевидно, нейтрализуются зарядами электролитов, следствием чего является соединение коллоидных частиц. Коллоидные частицы суспензоида иногда бывают защищены против действия осаждающих веществ присутствием наружного вещества. Такие частицы называются защищенными коллоидами. Например, желатин, добавленный к кремнеземному золью, делает осаждение золя более трудным.

Эмульсоид несколько отличается от суспензоида тем, что дисперсная фаза объединяется до некоторой степени с однородной фазой, способствуя разрушению эмульсии и затрудняя осаждение дисперсной фазы.

Мыло, желатин, некоторые масла и ил, находящиеся в водопроводной воде и в сточных водах, смешиваются с водой, образуя эмульсонды.

Эмульсонды амфотерных веществ таких, как желатин и другие протеины, могут осаждаться при регулировании pH или при добавке некоторых растворимых солей. Эмульсонды могут быть разрушены при размешивании, при изменении вязкости или при изменении поверхностного натяжения эмульсионного или связывающего вещества. Изменение температуры может вызвать изменение вязкости. С этой же целью могут быть применены различные химикалии или электричество, а также поверхностное натяжение, или то и другое одновременно.

**18. Медь.** Медь не встречается в естественных водах в значительных количествах. Присутствие меди является признаком загрязнения. Однако потребление меди более 100 мг/сутки необходимо для вызова физиологических реакций, и стандартами Службы здравоохранения США допускается максимальная концентрация меди 3,0 мг/л. В это количество<sup>1</sup> входят обычные дозы медного купороса, применяемые с целью уничтожения микроорганизмов. Наличие очень малых количеств меди иногда считается необходимым с гигиенической точки зрения<sup>2</sup>.

**19. Фтор.** Фтористые соединения встречаются в естественных водах. Желательно сохранение их в воде не менее 0,6—1,5 мг/л для предотвращения зубного кариоза и не более 3,0 мг/л для предотвращения пятнистости зубной эмали детей. Максимальный предел, допускаемый стандартами Службы здравоохранения, составляет 1,5 мг/л.

Обработка воды фтористыми соединениями рассматривается в п. 3 главы X.

**20. Растворенные газы.** Растворимость газов в естественных водах зависит от температуры воды, давления и концентрации газа в атмосфере.

**21. Жесткость.** Общая жесткость может выражаться различными способами. В США за стандарт принято выражение жесткости в мг/л карбоната кальция. Жесткость воды удовлетворительно определяется по методу Шварценбаха<sup>3</sup>.

Этот метод позволяет определять жесткость быстрее и менее сложно, чем методы, которые предусмотрены в 9-м издании стандартных методов.

Управление Геологического надзора США классифицирует воды по степени жесткости, как указано в табл. 43. Общая жесткость естественных вод, используемых для городского водоснаб-

Таблица 43

Классификация воды по степени жесткости

Класс	1	2	3	4
Жесткость:				
в мг/л . . . . .	0—55	56—100	101—200	20—500
в мг-экв/л . . . . .	0—1,1	1,1—2,0	2,1—4,0	4,1—10
Характеристика воды в отношении жесткости	Мягкая	Слегка жесткая	Умеренно жесткая	Очень жесткая

<sup>1</sup> См. также F. B. Mallory, J. New Engl. Water Works, Assoc. v. 41, 1927, p. 27.

<sup>2</sup> J. A. W. W. A., January, 1943, p. 98; February, 1943, p. 135; March, 1946, p. 362; см. также: W. G. Schneider, J. New Engl. Water Works Assoc., vol. 44, p. 435; R. M. Palmer, Proc. Am. Soc. Sanitary Engrs., 1930—1931, p. 364.

<sup>3</sup> См. H. Diehl and others, J. A. W. W. A., January, 1950, p. 40, J. D. Betz and C. A. Knoll, там же, p. 49.

жения, колеблется от величины немного меньшей 10 мг/л (0,2 мг-экв/л) до 1800 мг/л (38 мг-экв/л).

Такие величины жесткости допустимы и в санитарном отношении, но при жесткости свыше 100—200 мг/л (2—4 мг-экв/л) пригодность воды для хозяйственных и промышленных целей ограничена.

Способы удаления жесткости (умягчение воды) описаны в гл. XIV.

**22. Сероводород.** Присутствие сероводорода в воде городского водопровода в концентрации более 1,0 мг/л нежелательно, вследствие типичного запаха «тухлых яиц», хотя большие концентрации сероводорода при известных условиях могут быть полезными. К другим отрицательным свойствам относится потускнение и коррозия металлов, находящихся в контакте с сероводородом. Поскольку сероводород встречается в естественных водах, то его присутствие не обязательно указывает на загрязнение воды.

**23. Иод.** Иодиды редко встречаются в естественных водах в таких количествах, чтобы сделать воду непригодной для городского водоснабжения<sup>1</sup>. Концентрации до 1,0 мг/л считаются желательными для предотвращения появления зоба. Одно время пропагандировалось<sup>2</sup> применение иодидов в городских водопроводах, но в настоящее время рекомендуется применение иодированной столовой соли.

**24. Железо.** В большинстве грунтовых вод даже в железорудных районах содержится менее 5 мг/л железа; в некоторых местах это количество колеблется от 5 до 15 мг/л. Максимальное содержание железа до 40—50 мг/л возможно в кислой рудничной воде. Стандарты Службы здравоохранения США на питьевую воду ограничивают общее количество железа и марганца максимумом 0,3 мг/л.

**25. Свинец.** Содержание свинца в воде нежелательно вследствие его тенденции скапливаться в организме, что приводит к отравлению. Стандартом на питьевую воду содержание свинца ограничено 0,1 мг/л. Его присутствие в естественных водах—явление необычное, но он может раствориться в воде при контакте со свинцовыми поверхностями, например, свинцовыми трубами, облицовкой резервуаров и свинцовыми красками.

**26. Марганец.** Марганец вступает в реакцию с естественной водой, аналогичную реакции железа; иногда даже трудно определить разницу между ними. Марганец встречается менее часто, чем железо. Общее содержание железа и марганца в питьевой воде ограничивается 0,3 мг/л.

**27. Метан.** Метан бесцветный и без запаха газ, растворимый в воде. Он иногда встречается в грунтовой воде в такой концентрации, что при атмосферном давлении выделяется и соединяется

<sup>1</sup> См. также L. B. Loeb, J.A.W.W.A., April, 1934, p. 461.

<sup>2</sup> См. „Water Works Practice“, American Water Works Association, 1925, p. 275.

с воздухом, образуя взрывчатую смесь<sup>1</sup>, содержащую 5—15% метана. При содержании метана менее 1,4 мг/л при температуре 14° достаточное количество метана может выделиться из воды, образуя 5%-ную смесь с окружающим воздухом. Так как этот газ легче воздуха<sup>2</sup>, его можно удалить из колодца, закрыв верх последнего и выведя вентиляционную трубу наружу. Диаметр вентиляционной трубы должен быть не менее 50 мм.

**28. Азот, нитраты и нитриты.** Присутствие азота в воде не имеет значения в санитарном отношении. Соединения азота указывают только на присутствие в воде органических веществ. Азотистые соединения в обработанной воде служат пищей для бактерий, развивающихся в распределительных трубах и резервуарах, и поэтому содержание азотистых соединений считается нежелательным.

Присутствие нитратов и нитритов указывает на достаточно отдаленный контакт воды с органическими веществами. Нитраты в том виде, в каком они встречаются в грунтовых водах, могут иметь значение в санитарно-гигиеническом отношении, так как являются причиной заболевания methemoglobinemia, упомянутой в главе IX п. 2.

Общий азот в естественных водах редко бывает в таком количестве, чтобы его надо было удалять в процессе очистки.

**29. Кислород<sup>3</sup>.** Поверхностные воды удовлетворительного качества должны быть насыщены растворенным кислородом. Концентрация растворенного кислорода в воде, соприкасающейся с воздухом при различных температурах, дана в табл. 44.

Таблица 44

**Растворимость кислорода в воде**

(при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и содержании кислорода в воздухе 20,9%)

Температура в град. С	0	1	2	3	4	5
Кислород в мг/л . . . .	14,66	14,23	13,84	13,48	13,13	12,80
Температура в град. С .	6	7	8	9	10	11
Кислород в мг/л . . . .	12,48	12,17	11,87	11,59	11,33	11,08
Температура в град. С .	12	13	14	15	16	17
Кислород в мг/л . . . .	10,83	10,60	10,37	10,15	9,95	9,74
Температура в град. С .	18	19	20	21	22	23
Кислород в мг/л . . . .	9,54	9,35	9,17	8,99	8,83	8,68
Температура в град. С .	24	25	26	27	28	29
Кислород в мг/л . . . .	8,53	8,38	8,22	8,04	7,92	7,63

<sup>1</sup> См. также А. М. Buswell and C. C. Larson, J. A. W. W. A., December, 1937, p. 1978; L. W. Fisher and W. H. Sawyer, Jr., Science, Jan. 5, 1951, p. 7; Water Works Eng. September, 1952, p. 856.

<sup>2</sup> Вес метана составляет 0,544 от веса воздуха.

<sup>3</sup> См. также L. M. Zoos and others, Trans. Am. Soc. Mech. Engrs., January, 1954, p. 69.



Недостаточная насыщенность или перенасыщенность поверхностных вод кислородом указывает на загрязнение. Однако подземные воды, лишенные растворенного кислорода, могут использоваться как источник водоснабжения, вследствие того, что они лишены кислорода в результате реакции с растворенными минералами.

Кислород в высшей степени активный газ и его присутствие в воде может способствовать образованию коррозии.

БПК незагрязненной воды должна быть менее 5 мг/л. Более высокое количество является сигналом, требующим исследования причины повышения БПК прежде, чем вода будет использована для водоснабжения.

Этот показатель редко применяют для определения качества воды в источнике, так как и при низком БПК могут быть загрязнения неорганического характера.

**30. Фенол.** Присутствие фенола в источнике водоснабжения является признаком загрязнения воды промышленными сточными водами. Содержание фенола нежелательно в концентрациях выше 0,001 мг/л, вследствие появления привкуса при хлорировании воды.

**31. Фосфаты.** Содержание фосфатов в естественных водах незначительно. Концентрации фосфатов, являющихся результатом обработки воды с целью ее стабилизации, не имеют гигиенического значения, но фосфаты, подобно соединениям азота, могут служить пищей для последующего роста бактерий в распределительных системах.

**32. Радий и радиоактивность воды<sup>1</sup>.** Содержание радия ( $R^{226}$ ) в естественных поверхностных и грунтовых водах, как сообщает Лав<sup>2</sup>, колеблется от 0,36 до  $3,90 \cdot 10^{-12}$  г/л. Американская водопроводная ассоциация<sup>3</sup> указывает, что при самой высокой концентрации радия, которая встречается в водах США, индивидууму необходимо выпивать 2180 галл. (8250 л) в сутки, чтобы получить минимальную допустимую дозу радия, указываемую в американской литературе<sup>4</sup>.

Радиоактивность большинства естественных вод гораздо ниже максимальной допустимой концентрации, указываемой Мортонем<sup>5</sup>.

Степень радиоактивности, допустимой в системах водоснабжения.

Максимально допустимая активность непрерывного излучения лучей  $\beta$ ,  $\gamma$  или  $\alpha$ :  $10^{-7}$   $\mu$ с (микрочюри) на 1 мл воды.

<sup>1</sup> См также J. B. Hirsch, обобщено в J. A. W. W. A., February, 1954 p. 70, P & R.

<sup>2</sup> S. K. Love, Ind. & Eng. Chem., July, 1951, p. 1541.

<sup>3</sup> „Water Quality and Treatment“, 1925, p. 62.

<sup>4</sup> См. также, Loeb (сноска на стр.187), J. B. Hirsch, J. A. W. W. A., January 1954, p. 43.

<sup>5</sup> R. C. Morton, Civil Eng, September, 1952, p. 141. Британские аварийные допустимые пределы см. у R. Loosemore, Nucleonics, October, 1953, p. 36.



Аварийный предел активности лучей  $\beta$ - $\gamma$ , допускаемый как временный, немедленно после атомного взрыва, при использовании в течение 10 дней: безопасная концентрация  $3,5 \cdot 10^{-3} \mu\text{с/мл}$ ; обоснованный риск  $9 \cdot 10^{-2} \mu\text{с/мл}$ . При 30-дневном использовании: безопасная концентрация  $1,1 \times 10^{-3} \mu\text{с/мл}$ , обоснованный риск —  $3 \cdot 10^{-2} \mu\text{с/мл}$ .

Активность X-лучей: при 10-дневном использовании безопасной является концентрация  $2 \cdot 4^{-4} \mu\text{с/мл}$ ; обоснованный риск —  $5 \cdot 10^{-3} \mu\text{с/мл}$ . При 30-дневном использовании —  $6,7 \cdot 10^{-5} \mu\text{с/мл}$ , обоснованный риск —  $1,7 \cdot 10^{-3} \mu\text{с/мл}$ .

Тот факт, что естественные воды, как предполагается, имеют низкую радиоактивность, доказывается радиоактивностью воды реки Клинг, в которую поступает сточная вода от атомной электростанции, расположенной в Оак Ридж, штат Теннесси. В данном случае активность—порядка  $10^{-9} \mu\text{с/л}^1$ . С другой стороны, некоторые радиоактивные родниковые воды имеют активность  $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{с/л}$ .

Вообще проблема радиоактивности естественных вод не является особенно существенной и возможность загрязнения водохранилищ или систем водоснабжения при взрывах атомных бомб, а также отбросами атомных предприятий, представляется маловероятной<sup>2</sup>.

Способы и приборы для определения радиоактивности воды описаны Лусмором.

**33. Селен.** Селен, подобно мышьяку, встречается в источниках воды главным образом как результат опрыскивания фруктов и овощей. Он обычно содержится в незначительных концентрациях, но вода, содержащая селен более  $0,05 \text{ мг/л}$ , не должна использоваться для городского водоснабжения.

**34. Кремнекислота.** Кремнекислота содержится во многих естественных водах в концентрациях от 2 до  $60 \text{ мг/л}$  и максимум  $110 \text{ мг/л}$ . В таком количестве она не имеет значения в санитарном отношении, но присутствие ее нежелательно, так как она дает накипь в паровых котлах.

**35. Сульфаты.** Содержание сульфатов имеет значение в гигиеническом отношении, вследствие их действия на человеческий организм как слабительного. Их концентрация ограничивается поэтому максимумом  $250 \text{ мг/л}$ . Однако допускается большая концентрация для некоторых местностей, где сульфаты действуют только на людей, не привыкших к ним.

**36. Олово.** Соединения олова в концентрациях, обычно встречающихся в естественных водах, не имеют значения в санитарно-гигиеническом отношении, не вызывают никаких патологических изменений, безвредны и не оказывают особого влияния на производственные процессы.

<sup>1</sup> См. O. R. Placak and R. J. Morton, J. A. W. W. A., February, 1950-р. 135.

<sup>2</sup> См. также W. A. Rodger, там же, June, 1950, p. 533.

**37. Цинк.** Содержание исключительно малых концентраций цинка иногда считается желательным с гигиенической точки зрения, но концентрации выше 15 мг/л нежелательны<sup>1</sup>.

**38. Концентрация ионов водорода.** Концентрация ионов водорода в воде в сочетании с ее минеральным составом может иметь значение с физиологической точки зрения, так как метаболизм индивидуума, привыкшего к воде с одной концентрацией ионов водорода и определенного минерального состава, может быть нарушен с последствиями в виде нарушения пищеварения при питье воды с другой концентрацией водородных ионов и другого минерального состава, несмотря на то, что та и другая вода пригодна для питья и безвредна для тех, кто постоянно ее потребляет. Этот факт частично объясняет нарушение пищеварения у путешественников.

**39. Показатель концентрации водородных ионов<sup>2</sup>.** Известно из закона действия масс, что в растворе электролита существует следующее отношение:

$$\frac{\text{Концентрация катионов} \times \text{концентрация анионов}}{\text{Концентрация нерастворенных молекул}} = \text{постоянная.}$$

Эта постоянная называется постоянной распада электролитического раствора. По электропроводности чистой воды и по закону действия массы было определено, что:

$$\frac{\text{Концентрация ионов Н} \times \text{концентрация ионов ОН}}{\text{Концентрация нераспавшихся молекул НОН}} = 10^{-14}.$$

Но так как концентрация ионов  $\text{H}^+$  должна равняться концентрации ионов  $\text{OH}^-$  для электрической нейтральности, а концентрация недиссоциировавших молекул в чистой воде практически составляет 100%, то отношение между ионами  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  можно выразить следующим образом:

$$\text{Концентрация Н}^+ = \frac{10^{-14}}{\text{Концентрация ОН}^-}.$$

Из этого отношения концентрация ионов  $\text{OH}^-$  или других отрицательных ионов может быть выражена в виде эквивалентной концентрации водородных ионов. Например, если известно,

<sup>1</sup> См. также J. G. Cox, J. A. W. W. A., November, 1939, p. 1926.

<sup>2</sup>Ввиду трудностей вычислений при пользовании показателями концентрации водородных ионов, Торнберри (Trans Illinois State Acad. Sci, v. 44, 1951, p. 35) предложил десятичную шкалу еп Н, при которой устраняются некоторые недостатки показателей концентрации водородных ионов и которая позволяет делать вычисления с помощью простой арифметики. Однако шкала еп Н широко не применяется.

что в молярном растворе сильного основания концентрация  $\text{OH}^-$  ионов составляет 0,004, то

$$\text{H}^+ = \frac{10^{-14}}{4 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^{-11}}{4}$$

и показатель концентрации водородных ионов

$$\text{pH} = \lg 4 \cdot 10^{11} = 11,6.$$

В чистой воде для электрической нейтральности концентрация ионов  $\text{H}^+$  должна быть равна концентрации ионов  $\text{OH}^-$ . Поэтому концентрация водородных ионов чистой воды составляет  $\sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$  и pH чистой воды равен 7,0.

Все кислые вещества имеют более высокую концентрацию водородных ионов, дающую показатель концентрации ниже 7,0; все щелочные вещества имеют более высокую концентрацию  $\text{OH}^-$  или других отрицательных ионов, эквивалентную самой низкой концентрации водородных ионов, в результате чего показатель концентрации получается более 7,0.

#### 40. Примеры вычисления pH.

**Задача.** Определить средний pH двух электролитических растворов: один из них имеет pH=6,0, а другой pH=8,0.

**Решение.** Концентрация  $\text{H}^+$  в первом растворе составляет 0,000001, а во втором — 0,00000001. Средняя концентрация  $\text{H}^+$  равна средней из двух величин или 0,00000505. Показатель концентрации водородных ионов есть логарифм обратной величины полученной цифры или 6,3. Следует подчеркнуть, что средний показатель концентрации водородных ионов не равен средней арифметической показателей, т. е. не равен

$$\frac{6 + 8}{2} = 7,0.$$

**Задача.** Определить pH и константу диссоциации 0,1 молярного раствора уксусной кислоты, которая на 88,7% недиссоциирована.

**Решение.** Уксусная кислота выражается  $\text{H}^+ \text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ , откуда

$$\frac{\text{H}^+ (0,1)(0,013) \cdot (0,1)(0,013) \text{ уксус}^-}{(0,1) \cdot (0,887)} = k,$$

$$\text{pH} = \lg \frac{1}{(0,1)(0,013)} = \lg 0,0013 = 2,9;$$

$$\frac{(0,1)(0,013) \cdot (0,1)(0,013)}{(0,0987)} = k = 0,0000171.$$

**Задача.** Определить pH молярного раствора гидроксида аммония (аммиака), которая является слабым основанием, практически не диссоциируемым, и имеет константу диссоциации 0,000018.

**Решение.**

$$\frac{\text{NH}_4^+ \cdot \text{OH}^-}{(1)\text{NH}_4\text{OH}} = 0,000018.$$

Отсюда концентрация  $\text{OH}^-$  ионов равна

$$\sqrt{0,000018} = 0,0042;$$

$$\text{концентрация } \text{H}^+ = \frac{10^{-14}}{0,0042} = \frac{10^{-11}}{4,2}$$

и  $\text{pH} = \log 4,2 \cdot 10^{+11} = 11,6$ .

**41. Отношение pH к кислотности и щелочности.** Не существует соотношения между выражением pH электролита и выражением его кислотности или щелочности. На то, что это не одно и то же, указывает кислотность 0,1 нормальных растворов соляной, серной и уксусной кислот. По определению кислотность одна и та же, в то время как pH составляют соответственно 1,08; 1,2 и 2,89. Кислотность раствора выражается количеством *мг/л* по весу, эквивалентным содержанию  $\text{CaCO}_3$  (в *мг-экв/л*). Щелочность выражается подобным же образом. Термины щелочность и кислотность важны поэтому при указании веса химических радикалов в растворе, так как эти вещества оказывают некоторые влияния на качество воды, используемой для производственных целей и для питья. Ни то, ни другое не указывают на химическую активность электролитов. С другой стороны, pH или концентрация водородных ионов раствора непосредственно определяет их химическую активность и может также оказывать некоторое влияние на свойства воды в санитарном и производственном отношениях.

**42. Практическое применение показателя pH.** pH естественных вод в большой степени зависит от количества равновесной углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) и находится в пределах от 7,0 до 8,5. Вообще нижний предел pH указывает на слишком большую кислотность питьевой воды. pH дистиллированной воды может составлять 6,5 или меньше, благодаря растворенной в ней углекислоте. Поэтому в санитарно-гигиеническом отношении pH не имеет большого значения.

Уменьшение количества сернокислого алюминия, необходимого для коагулирования, доказало важность знания величины pH при обработке воды. Некоторые дополнительные преимущества знания величины pH перечислены Эдди<sup>1</sup>:

1) предотвращение проскока сернокислого алюминия через фильтры и предотвращение, следовательно, дальнейшего его осаждения в распределительной системе;

2) предотвращение коррозионного действия;

3) уничтожение микроорганизмов путем регулирования условий их жизни;

4) возможное уменьшение размеров отстойников вследствие лучшей флокуляции;

5) возможное увеличение эффективности при удалении бактерий.

Регулирование pH весьма важно при обработке воды и в производственных процессах. На практике широко применя-

<sup>1</sup> Н. Р. Эдди, J. New Engl. Water Works Assoc. v. 35, 1921, p. 385.

Перечень некоторых микроорганизмов, вредных для источников воды, и количества реагентов, требуемых для их уничтожения (из W. C. Purdy, Methods for Biological Examination of Water, Proc. 9 th. Ann Water Works School, Univ. Kansas, 1931, и из других источников)

Организм	Запах	CuSO <sub>4</sub> в мг/л*	Cl <sub>2</sub> в мг/л**
<b>Diatoms:</b>			
Asterionella <sup>1</sup>	АКЗ	0,12—0,20	0,5—1,0
Cyclotella <sup>1,2</sup>	ФА	—	1,0
Diatoma <sup>2</sup>	ФА	—	—
Fragilaria <sup>2</sup>	—	0,25	—
Melosira <sup>1,2,3</sup>	—	0,20—0,33	—
Meridion	А	—	—
Navicula <sup>2</sup>	—	0,07	—
Nitzschia <sup>3</sup>	—	0,5	—
Synedra <sup>1,2</sup>	ЖА	0,36—0,5	1,0
Stephanodiscus	—	0,33	—
Tabellaria	АКЗ	0,12—0,5	0,5—1
<b>Chlorophyceae:</b>			
Chladaphora	—	0,5	—
Closterium	—	0,17	—
Coelastrum <sup>2</sup>	—	0,05—0,33	1,0
Conferva <sup>2</sup>	—	0,25	—
Desmidium	—	2,0	—
Dictyosphaerium	КОЗ	—	0,5—1
Draparnaldia	—	0,33	—
Eudorina	ФЗ	2—10	—
Entomorpha	—	0,5	—
Gloeocystis	П	0,5	—
Hydrodictyon	ХП	0,1	—
Microspora	—	0,4	—
Palmella	—	2,0	—
Pandorina	ФЗ	2—10	—
Protococcus	—	—	1,0
Raphidium	—	1,0	—
Scenedesmus	—	1,0	—
Spirogyra <sup>2</sup>	—	0,12	0,7—1,5
Staurastium	К	1,5	—
Tetrastrum	—	—	1
Ulothrix	—	0,2	—
Volvox <sup>1</sup>	З	0,25	0,3—1
<b>Цианопhyceae</b>			
Anabena <sup>1</sup>	МКУ	0,12—0,48	0,5—1
Aphanizomenon <sup>1</sup>	МКУ	0,12—0,5	0,5—1
Ciathrocystis	СКУ	0,12—0,25	0,5—1
Coleosphaerium <sup>1</sup>	СК	0,2—0,33	0,5—1
Cilindrospermum	К	0,12	—
Gloeocapsa (красная)	—	0,24	—
Microcystis	—	0,2	—
Oscillaria <sup>2</sup>	—	0,2—0,5	—
Rivularia	МК	—	—



Организм	Запах	CuSO <sub>4</sub> в мг/л*	Cl <sub>2</sub> в мг/л**
<b>Schizomycetes</b>			
Beggiatoa <sup>2</sup>	ХП,Е	5	—
Cladotrix	—	0,2	—
Crenothrix <sup>2</sup>	ХП,Е <sup>4</sup>	0,33—0,5	0,5—1,0
Sphaerotilus natans	ХП,Е	0,4	—
Spirophyllum	—	—	0,25
Thiothrix <sup>1,2</sup>	ХП,Е	—	0,5—1
<b>Fungus:</b>			
Achyla	—	—	0,6
Leptomitus	—	0,4	—
Saprolegnia	—	0,18	—
<b>Разные:</b>			
Chara <sup>2</sup>	—	0,1—0,5	—
Chironomus (дождевой червь красный)	—	—	15—50
Nais	—	—	1,0
Nitella flexillis	—	0,1—0,18	—
Patomogeton <sup>2</sup>	—	0,3—0,8	—
<b>Protozoa:</b>			
Busaria	Л,Т,З	0,33	0,3—1
Ceratium	УЗ	0,24—0,33	0,3—1
Chlamydomonas	—	0,36—1,0	—
Cryptomonas	Д	0,5	—
Dinobryon <sup>1</sup>	АУЗ	0,18	0,5
E. histolytica	—	25—100	0,5
Euglena	—	0,5	—
Glenodinium	З	0,5	—
Mallomonas	АУЗ	0,5	—
Peridinium	И	0,5—2	—
Synura <sup>1</sup>	ВНЗБ	0,12—0,25	0,3—1
Uroglena <sup>1</sup>	ЗРГ	0,05—0,2	0,3—1
<b>Rotifer, Stentor</b>			
	—	—	0,24
<b>Crustacea:</b>			
Cyclops <sup>1,2,3</sup>	—	—	1—3
Daphnia	—	2,0	1—3

Примечания. А — ароматический запах; Б — горький; В — огуречный; Г — запах рыбьего жира; Д — запах засохшей фиалки; Е — запах гниения; Ж — землистый; З — рыбный; И — рыбный, подобный запаху раков; К — травянистый; Л — запах ирландского мха; М — запах плесени; Н — запах мускусной дыни; О — запах настурций; П — неприятный; Р — запах масла; С — сладковатый; Т — запах соляных болот; У — отвратительный; Ф — слабый; Х — очень сильный.

\* В большинстве случаев приводится не доза, а остаточное количество.

\*\* Доза.

<sup>1</sup> Эти организмы поражаются хлором, что сопровождается характерным запахом. В большинстве случаев необходимая доза хлора составляет от 0,3 до 3,0 мг/л в зависимости от количества организмов.

<sup>2</sup> Эти организмы, кроме запаха, вызывают и другие неприятности.

<sup>3</sup> С этими организмами можно бороться избытком извести: для диатомей 5 мг/л.

<sup>4</sup> Обладает целебными свойствами вместе с хлором.

ются автоматические контрольные приборы для регулирования рН. Эти приборы контролируют автоматически дозы реагентов для поддержания заранее определенной величины рН<sup>1</sup>.

**43. Анализ производственной воды**<sup>2</sup>. Методы производства анализа воды, используемой для производственных целей, отличаются от методов для санитарного анализа. К основным различиям, отмечаемым в «Экспериментальных стандартных методах Американского общества испытания материалов»<sup>3</sup>, можно отнести указываемые составляющие и единицы измерения. К составляющим относятся, например, общая углекислота, окиси металлов, кремнекислота, важные металлические катионы:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и неметаллические анионы:  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ .

Единицами измерения при указании концентрации являются *мг-экв* или *г-экв*.

Если желательна исключительно чистая вода, то качество ее может быть определено с помощью стандартных испытаний на электропроводность, которая выражается в обратных омах на 1 см при температуре 25°C<sup>4</sup>. Электропроводность воды описывается в п. 6 настоящей главы.

**44. Микроорганизмы** [47]. В табл. 45 приведен перечень некоторых микроорганизмов, оказывающих вредное влияние на качество воды в источниках водоснабжения. Там же приводятся дозы медного купороса и хлора, необходимые для борьбы с этими микроорганизмами. Доза медного купороса в большинстве случаев [48] дается в виде остаточного его содержания, а доза хлора — в виде количества, добавляемого в воду.

---

<sup>1</sup> См. также R. T. Sheen, Ind. Eng. Chem., November, 1947, p. 1443; Water Works Eng., January, 1952, p. 47, 1952, p. 127.

<sup>2</sup> См. также Standard Methods for Reporting Results of Analysis of Industrial Water, ASTM, D1125 50T.

<sup>3</sup> American Society for Testing Materials Standards Supplement. Part. III, 1940, p. 541.

<sup>4</sup> См. также Standard Definitions of Terms Relative to Industrial Water, ASTM 1129-51.

## Глава XI

### ПРОСТОЕ ОТСТАИВАНИЕ

**1. Общие сведения.** В настоящее время применяются почти исключительно проточные отстойные бассейны.

Контактные отстойники с периодическим наполнением и опорожнением их устарели. Отстойники с вертикальным движением воды применяются почти исключительно при коагулировании, как указано в главе XII, п. 37.

Осадок из горизонтальных отстойников удаляют путем смыва и сгребания при опорожнении отстойника или посредством непрерывно действующих механических приспособлений, без перерыва работы отстойников.

Некоторые данные, характеризующие эффект простого отстаивания, приведены в табл. 46. Из этих данных видно, что простым отстаиванием нельзя очистить воду до такой степени, чтобы она могла быть использована для водоснабжения.

**2. Проектирование отстойных бассейнов.** К числу сил и факторов, влияющих на скорость осаждения взвешенных веществ, относятся: сила тяжести; размер и удельный вес осаждающихся частиц; наличие коагулирования или смешения осаждающихся частиц, глубина и форма бассейна, вязкость воды (зависящая от ее температуры), наличие конвекционных и других токов, режим работы бассейна, электрические явления, биологическая деятельность.

Возможно, существуют и другие силы и факторы, но они не поддаются учету.

Ввиду затруднительности учета всех перечисленных факторов расчет простого отстойного бассейна обычно основывается на опыте работы других бассейнов на воде подобного типа или на результатах пробного отстаивания воды, которая должна быть обработана.

Комитет американского общества гражданских инженеров считает<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup> Water Treatment Plant Design, Am. Soc. Civil Engrs. Manual of Practice, 19, 1941, p. 43.

«... несмотря на различные влияющие факторы... лучшие результаты будут получены при прямом потоке, проходящем через бассейн, в который вода (коагулированная) поступает с одного конца через распределительную стенку, проходит далее в бассейн, где имеется достаточное количество направляющих стенок по пути движения воды (предназначенных для выравнивания скоростей движения воды) и выходит из отстойного бассейна через затопленный водослив или достаточно большое отверстие, чтобы не влиять на равномерную скорость потока в бассейне. Если бы по всей длине бассейна можно было обеспечить равномерную скорость, то условия осаждения были бы идеальными. Такие идеальные условия могут дать длинные узкие бассейны, в виде тоннеля, длинного трубопровода или канала».

Основные факторы, определяющие работу отстойного бассейна проточного или контактного, следующие:

- 1) продолжительность пребывания воды в отстойнике;
- 2) число и емкость бассейнов;
- 3) скорость движения воды;
- 4) глубина бассейна;
- 5) отношение длины к ширине бассейна;
- 6) впускные и выпускные устройства;
- 7) наличие или отсутствие покрытия;
- 8) возможность очистки;
- 9) емкость иловой части.

Многие из этих условий зависят друг от друга, а также от качества воды, которую следует обрабатывать, и от желательных результатов.

**3. Теория и практика**<sup>1</sup>. Был сделан ряд попыток выразить математические зависимости, которые могли бы быть применены для определения размеров отстойных бассейнов.

В этом отношении следует отметить работы Хейзена<sup>2</sup>, Слейда<sup>3</sup>, Кэмп<sup>4</sup>, Карпентера и Спейдена<sup>5</sup>. Однако ввиду разнообразия факторов, учитываемых при расчете, на практике стали основывать расчет отстойных бассейнов на опыте хорошо работающих бассейнов.

Теоретическую вертикальную скорость осаждения частиц можно определить по формуле Стокса

$$V = \frac{gd^2(D_1 - D_2)}{18\nu}, \quad (\text{XI.1})$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести;

$D_1$  — плотность оседающих частиц;

$D_2$  — плотность воды;

$d$  — диаметр оседающих частиц;

$\nu$  — коэффициент вязкости воды (при температуре 25° он равен 8,94 миллипуазов).

<sup>1</sup> См. также G. M. Fair and J. C. Geier, „Water Supply and Waste Water Disposal“, p. 584 ff, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1954.

<sup>2</sup> Allen Hazen, Trans. Am. Soc. Civil Engrs. v. 73, p. 43. 1904,

<sup>3</sup> J. J. Slade, Jr., там же, v. 102, 1937 p. 289.

<sup>4</sup> T. R. Camp, Sewage Works J., September, 1936, p. 742,

<sup>5</sup> L. V. Carpenter and H. W. Speiden, там же, March, 1935, p. 200.

Все размерности выражены в системе cgs.

Действительная скорость осаждения мелких частиц в отстойных бассейнах зависит от многих других условий и поэтому формула Стокса не применима в практических условиях.

При теоретических изучениях отстойных бассейнов часто пренебрегают весьма важными факторами: энергией скорости и плотными потоками [49]. Скорость поступающей в бассейн воды трудно погашать, особенно в больших бассейнах, и она может вызвать «смерчи» («storms») оседающих частиц. Плотные потоки могут вызвать завихрения («splash») у впускных отверстий, которые будут препятствовать оседанию в этой зоне. Неравномерная работа выпускных устройств может явиться причиной образования потоков, которые будут втягивать оседающие или уже осевшие на дно бассейна частицы, в то же время взвешенные частицы вблизи поверхности воды могут находиться в спокойном состоянии.

**4. Глубина.** Глубину горизонтальных проточных отстойных бассейнов всех типов принимают обычно от 3 до 5,4 м, наиболее часто 3—4,5 м. Эта глубина включает объем, занимаемый осадком. Глубину вертикальных проточных отстойников принимают до 6—7,6 м.

**5. Продолжительность пребывания воды в отстойнике.** Применяющийся на практике термин «продолжительность пребывания воды» («период задержания»), представляет собой частное от деления объема бассейна на производительность отстойника. Она равна времени, требуемому для наполнения бассейна при данном расходе. Это время больше, чем время протока воды через отстойник, которое представляет собой среднее время, требуемое для прохождения через бассейн данного расхода при уже наполненном бассейне. Продолжительность протока этого расхода определяется путем наблюдения за временем прохождения через бассейн подкрашенной воды; введения в воду химикалий, таких как хлористый кальций или хлористый натрий; наблюдения за поведением шлама (взвешенных веществ) в воде. При использовании красок и химикалий обычно наблюдают за временем прохождения от впускного до выпускного отверстия центра тяжести площади, ограниченной кривой, изображающей графически зависимость от времени концентрации краски или химикалия в воде, выходящей из отстойника. Эффективным оказалось наблюдение за поведением шлама с помощью луча света, направленного в бассейн ночью.

Совершенство конструкции отстойника (эффективность его работы) характеризуется отношением времени протока воды к времени ее пребывания в отстойнике, умноженным на 100.

Эффективность работы отстойников, действующих в настоящее время, колеблется от 5 до 50, а у некоторых отстойников достигает 90\*.

\* См. также J. F. Walker, J. A. W. W. A., September, 1946, p. 1078.



Продолжительность пребывания в существующих бассейнах колеблется от часа до нескольких суток, но ввиду того, что основная масса взвешенных веществ осаждается в течение первых нескольких часов, то бассейны обычно рассчитываются на время, исчисляемое в часах, а не в сутках. Для правильного определения продолжительности пребывания следует провести соответствующие испытания.

Таблица 46

Уменьшение мутности и количества бактерий на различных стадиях обработки воды\*

	Толето, штат Огайо, август 1923—июль 1924 гг.	Янгстаун, штат Огайо, октябрь 1923—сентябрь 1924 гг.	Ниагара Фолс, штат Нью-Йорк, октябрь 1923—сен- тябрь 1924 гг.	Цинцинати, штат Огайо	Лунсвилл, штат Кентукки
<b>Мутность:</b>					
сырая вода . . . . .	185	56	21	—	—
Количество взвешенных ве- ществ в %, удаляемое путем:					
простого отстаивания	—	82,7	—	—	—
отстаивания с коагу- лированием	87,0	92,5	42,2	—	—
<b>Бактерии, через 48 час. при 20°</b>					
сырая вода в 1 000 на см <sup>3</sup>	14,1	8,69	9,96	—	—
количество бактерий в %, удаляемых:					
простым отстаиванием	—	—	—	—	—
коагулированием . . .	80,0	99,68	50,1	—	—
фильтрованием . . . .	94,2	99,978	85,6	—	—
хлорированием . . . .	96,9	99,947	99,86	—	—
<b>Колиндекс:</b>					
сырая вода . . . . .	1650	5450	8290	0,685	30,9
количество в %, удаляемое путем:					
простого отстаивания	—	—	—	47,2	92,9
коагулирования . . . .	81,9	99,995	64,9	87,6	94,8
фильтрования . . . . .	93,8	99,993	99,02	98,5	99,903
хлорирования . . . . .	99,73	99,999	99,985	99,645	99,9807

\* Studies of the Effect of Water Purification Processes, Public Health Service. Bull. 172, 1927.

Практически во многих случаях продолжительность пребывания бывает 6—8 час. и меньше, если применяется коагулирование. Наиболее короткая продолжительность пребывания от 1,5 до

3 час. встречается в бассейнах, оборудованных устройствами для механической очистки от осадка.

**6. Объем и число бассейнов.** Полезный объем всех отстойных бассейнов установки является функцией времени пребывания в них воды и расчетной скорости движения ее. На крупных установках может быть предусмотрена дополнительная емкость на случай непредвиденных обстоятельств; на небольших установках дополнительная емкость не всегда необходима.

Желательно рассчитать установку на возможность работы ее при различной продолжительности пребывания в соответствии с колебанием качества сырой воды. Этого можно добиться, если принять несколько бассейнов общей емкостью, требуемой по расчету. Если имеются два или более бассейна, желательно сделать их различной емкости чтобы можно было работать с разной продолжительностью пребывания воды. Гибкость в работе может быть достигнута путем соединения бассейнов таким образом, чтобы любой бассейн мог работать отдельно или в любом сочетании с другими бассейнами, параллельно или последовательно. Количество таких бассейнов определяется стоимостью их и желательными допускаемыми изменениями в продолжительности пребывания. В условиях, когда не допускается перерыв в обработке воды, должно быть не менее двух бассейнов, предпочтительно даже три, чтобы можно было выключать один бассейн.

**7. Круглые отстойные бассейны.** Круглые бассейны [50] при простом отстаивании применяются реже, чем прямоугольные по экономическим соображениям. Однако на небольших установках, где желательно непрерывное удаление осадка с помощью вращающихся скребков и где сталь может быть использована более экономично, можно строить круглые резервуары, так как их гидравлические свойства при правильном расчете могут быть вполне удовлетворительными<sup>1</sup>.

В круглый с горизонтальным протоком резервуар вода поступает в центре, а выходит из него в желоб, расположенный по окружности, у наружного края резервуара или на некотором расстоянии между центром и краем. Круглые резервуары с вертикальным движением воды применяются в случаях, описанных в главе XII, п. 38.

При конструировании бассейнов существенное значение имеют следующие факторы:

- 1) создание равномерной скорости в вертикальной подающей трубе в центре резервуара;
- 2) наличие удовлетворительно действующего рассейвания для равномерного распределения воды без потери напора;
- 3) отсутствие турбулентного движения внутри резервуара;
- 4) наличие зоны со скоростями менее 3 м/мин и предпочтительно менее 0,3 м/мин на дне резервуара, над слоем осадка;

<sup>1</sup> См. также G. E. Hubbell, J.A.W.W.A., v. 30, 1938, p. 335.

5) защита от действия ветра.

**8. Скорость движения воды.** Номинальная скорость движения воды в отстойном бассейне равна его производительности, деленной на площадь поперечного сечения бассейна.

Вообще, чем меньше скорость, тем более эффективно оседание частиц при прочих равных условиях. Скорость движения воды в бассейне не следует принимать более 0,3 м/мин; во многих существующих бассейнах скорость составляет 0,03—0,003 м/мин.

**9. Площадь поверхности.** Практика показывает, что очень важным фактором является отношение площади поверхности к объему резервуара. Рекомендуется нагрузку на 1 фут<sup>2</sup> площади поверхности отстойного бассейна принимать от 300 до 4 000 галл. в сутки [51] (12,6—16,8 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> в сутки) для зернистых твердых частиц, 800—2 000 галл./сутки (33,6—84,0 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> в сутки) для аморфных медленно оседающихся частиц и 1 000—1 200 галл./сутки (42,0—50,4 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> в сутки) для хлопьевидных частиц. Слишком большая поверхность по отношению к объему резервуара нежелательна ввиду возможности волнений под действием ветра.

**10. Отношение длины к ширине.** С точки зрения эффективности осаждения предпочитают длинные узкие бассейны, так как в широких бассейнах могут появляться поперечные потоки.

Наиболее экономичные соотношения между длиной и шириной с точки зрения стоимости бассейна не всегда обеспечивают наилучший эффект осаждения. Поэтому следует выбирать те размеры, которые дают удовлетворительный эффект осаждения и в то же время являются экономичными в отношении стоимости сооружения. Оптимальной длиной является такая, при которой получаются требуемая продолжительность протока при ширине канала, не превышающей 12 м и не меньшей  $\frac{1}{4}$  длины. Если по экономическим соображениям требуется большая общая ширина бассейна, то требуемое соотношение между длиной и шириной может быть получено с устройством направляющих перегородок, как показано на рис. 93. Для уменьшения до минимума водоворотов расстояние между концом направляющей перегородки и стенкой бассейна должно быть больше ширины канала или равно ей.

**11. Впускные и выпускные устройства и направляющие перегородки.** Следует подчеркнуть особую важность впускных и выпускных устройств и направляющих перегородок для успешной работы отстойного бассейна. Правильное использование таких устройств может сделать работу небольшого бассейна более эффективной, чем большого. Впускные и выпускные устройства в прямоугольных бассейнах с горизонтальным потоком должны обеспечивать распределение воды по возможности равномерно по вертикальному поперечному сечению канала.

К таким устройствам относятся водослив с острым гребнем, водосливный желоб, труба с двумя или более отверстиями

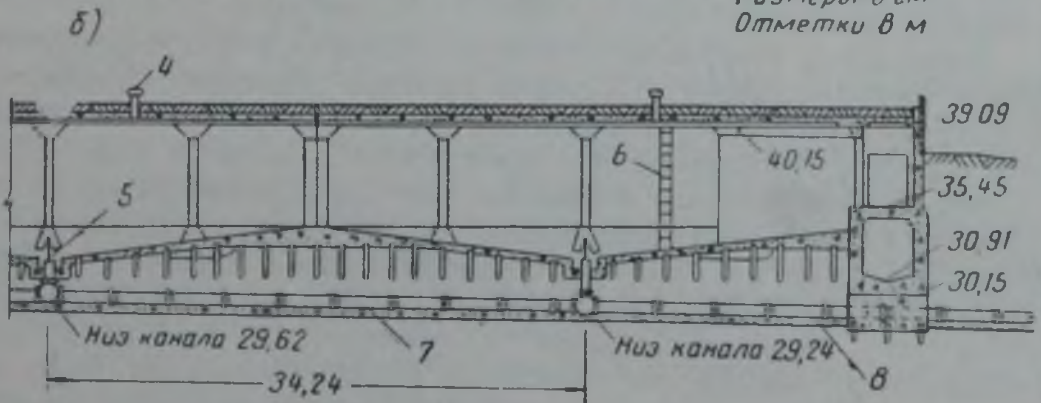
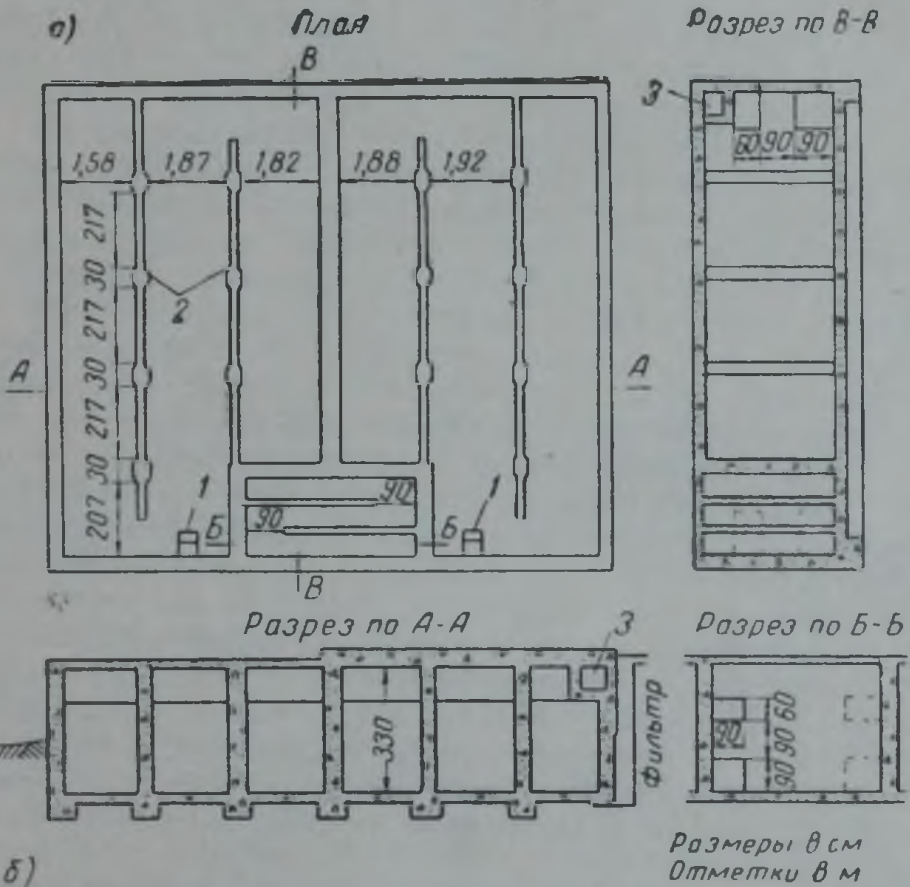


Рис. 93. Отстойники

а — водопроводный отстойник в Айривуде; шт. Мичиган (из Eng. News, Vol. '70, p. 1193); б — типовой крытый отстойник с ручной очисткой от осадка; 1 — спуск воды; 2 — колонны; 3 — лоток; 4 — вентиляционная труба; 5 — 24°-й выпускной клапан; 6 — стальная лестница; 7 — чугунная выпускная труба диаметром 30"; 8 — чугунная выпускная труба диаметром 36" с уклоном 0,66%



и дырчатые перегородки в конце канала<sup>1</sup>. Выбор устройств зависит от их стоимости и желательных результатов.

Возможно, наиболее эффективной является дырчатая перегородка. Скорости прохождения воды через щели или отверстия должны быть в пределах 0,12—0,24 м/сек, для чего требуется напор 3—6 мм. Эти скорости оказались удовлетворительными для создания равномерного потока. Водосливное устройство с острым гребнем относительно недорого. Оно может иметь конструкцию, позволяющую изменять уровень гребня для регулирования скорости потока. Вообще же, регулирование потока в бассейне с помощью выпускных отверстий менее эффективно, чем с помощью впускных отверстий. Дырчатые перегородки являются, возможно, наиболее эффективным устройством для гашения энергии входящей воды<sup>2</sup>, но на практике они широко не применяются.

Если температура воды, поступающей в бассейн, меньше, чем температура воды, находящейся в бассейне, то появляются донные токи, которые могут уменьшить эффект осаждения. Может быть полезна установка низких перегородок, которые образуют гнезда для скопления осадка и частично защищают его от донного течения. Если температура воды, поступающей в бассейн, больше, чем температура воды, находящейся в бассейне, то появляются поверхностные течения поперек бассейна. Это явление не сильно влияет на работу бассейна, так как отстаивание происходит как бы в бассейне очень небольшой глубины, а находящийся на дне осадок не подвергается никаким воздействиям. Поверхностные течения можно до некоторой степени уменьшить, если впускные отверстия сделать затопленными или если устроить подвесную перегородку, нижний край которой затоплен на 30—45 см ниже поверхности воды.

Выпускные отверстия отстойных бассейнов могут рассчитываться как водосливы с острым гребнем или как переливные желоба. Расположение и длина выпускных отверстий по отношению к потоку, проходящему через бассейн, влияют на работу бассейна. В первичных отстойных бассейнах, предназначенных только для удаления оседающих частиц, выпускное отверстие можно разместить в прямоугольном бассейне, в конце его с противоположной стороны от впускного; в круглом бассейне — по окружности. Если отстойники предназначены для осаждения хлопьевидных частиц, то выпускное устройство может быть помещено где-нибудь между впускным отверстием и противоположной стеной бассейна во избежание влияния «плотных потоков», которые имеют тенденцию уносить осевшие частицы в дальний конец отстойного бассейна.

С целью предотвращения волнообразования в отстойном бассейне на 1 фут выпускного водослива должен приходиться расход не более 200 000 галл/сутки (2520 м<sup>3</sup> в сутки на 1 м);

<sup>1</sup> См. также А. В. Morrill, J. A. W. W. A., 1932, p. 1442.

<sup>2</sup> См. также J. D. Walker, там же, September, 1946, p. 1078.



предпочтительно принимать менее  $\frac{1}{4}$  этой величины. В некоторых случаях желательны хотя бы часть водослива сделать регулируемой в вертикальном направлении для улучшения контроля за работой бассейна. Иногда в отстойных бассейнах устраивают направляющие перегородки для улучшения распределения скоростей и предотвращения образования мертвых пространств. Однако улучшения можно ожидать<sup>1</sup> только в тех случаях, когда расчет основан на результатах испытаний.

Имеются отстойные бассейны с двумя горизонтальными потоками, с впусками на каждом конце и выпусками в середине или с выпусками у каждого конца и впуском в середине. Отстойные бассейны с двумя потоками экономичны и работа их более эффективна. В некоторых случаях эффективность существующих отстойных бассейнов может быть повышена переустройством их в бассейны с двумя потоками.

**12. Регулирование уровня воды.** Уровень воды в бассейне обычно определяется уровнем выпускного водослива и глубиной воды, допускаемой над ним. Для предотвращения переливания через края бассейна следует установить регулирующий механизм на выпускном отверстии, как показано на рис. 47.

**13. Покрытия.** Если возможно по климатическим условиям, то бассейны для простого отстаивания следует устраивать без покрытия, так как в этом случае легче наблюдать за их работой. Основным назначением покрытия может быть защита от ветра, от образования льда и от загрязнения воды, а также для уменьшения роста микроорганизмов и улучшения внешнего вида установки. Если устраивается покрытие, то следует обеспечить удобный доступ к бассейну, впуск и выпуск воздуха в условиях колебания уровня воды в бассейне для предотвращения роста грибков и откладывания яиц летающими насекомыми.

**14. Скапливание осадка.** Объем в бассейне, необходимый для скапливания осадка, зависит от периода между очистками и от количества веществ, осаждающихся из воды. Правильный объем может быть определен только экспериментальным путем. Так как точная глубина отстойного бассейна не поддается определению, то проектировщики принимают обычно глубину по конструктивным соображениям, допуская, что часть емкости бассейна может быть использована для накапливания осадка.

Количество подлежащего удалению осадка можно приблизительно вычислить из выражения

$$Q = \frac{SP}{240 P_1}, \quad (\text{XI.2})$$

где  $Q$  — количество сырого осадка в  $t$ , приходящееся на 1 млн. галл. обработанной воды;

$S$  — содержание взвешенных веществ в сырой воде в  $mg/l$ ;

<sup>1</sup> См. также E. S. Hopkins, Eng. News-Record, Apr. 3, 1947, p. 80; Walker, см. сноску на стр. 204.

$P$  — количество взвешенных веществ в %, удаленных путем простого отстаивания;

$P_1$  — количество твердых частиц в осадке в %.

Если предусмотрено непрерывное механическое удаление осадка, то специального объема для накопления осадка не требуется.

**15. Выпуски и очистка бассейна.** Для возможности очистки бассейна днище его должно быть сделано в виде ряда воронок

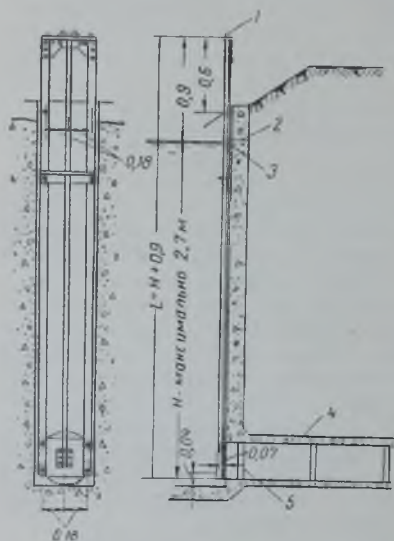


Рис. 94. Щитовой затвор для напоров 1,8—2,7 м

1 — шпилька диаметром 5/8"; 2 — анкерный болт (оцинкованный) диаметром 5/8", выступает на 7 см; 3 — трубка диаметром 3/4" длиной 3,5 см; 4 — трубопровод диаметром 12". 5 — анкерный болт диаметром 5/8"

с наклонными стенками или же днище должно иметь уклон около  $1/50$  к лотку или выпускному отверстию в стене. Выпускное отверстие должно регулироваться щитовым затвором, как показано на рис. 94; выпускные отверстия могут располагаться и в днище бассейна. В этом случае выпуск производится с помощью задвижки, установленной за пределами отстойного бассейна. Выпускную трубу желательно располагать под днищем или стенами отстойного бассейна, если в ней находится вода под давлением, так как затруднена очистка или ремонт такой трубы. Утечки из такой выпускной трубы могут разрушить днище или стенки бассейна.

Через выпускную трубу осадок удаляется не полностью. Оставшуюся

часть осадка удаляют вручную, механизмами или путем смыва.

Бассейны очищают плавающими землечерпалками, не прерывая работы бассейна и не производя взмучивания<sup>1</sup>.

**16. Непрерывное удаление осадка.** В некоторых отстойниках, сооруженных для коагулирования или для умягчения воды, нужно предусмотреть непрерывное удаление осадка, чтобы исключить необходимость в расчете бассейна на накопление осадка. Непрерывная очистка осуществляется при помощи металлических

<sup>1</sup> См. Eng. News-Record, Sept. 5, 1946, p. 102.

скребков или деревянных скребков с резиновой лентой, которые сгребают осадок (двигаясь по прямой линии или по кругу) к одному концу или к центру бассейна. Линейная скорость движения деревянных скребков с резиновой лентой не превышает 4,5 м/мин. Медленное движение не вызывает нежелательных течений и требует очень мало энергии для работы. Например, для работы скребка диаметром 60 м требуется всего только 2,8 л. с.

Как показывает опыт на некоторых установках, бассейны с непрерывным удалением осадка оказались более экономичными, благодаря отсутствию необходимости в дополнительной емкости и увеличению эффективности отстаивания.

Кроме того, исключена возможность загнивания осадка. Установлено, что непрерывный возврат к впускному отверстию отстойного бассейна части осевшего ила при определенных условиях увеличивает эффективность отстаивания.

---

## Глава XII

### ОТСТАИВАНИЕ С КОАГУЛИРОВАНИЕМ

**1. Коагулирование.** Процесс коагулирования заключается в смешении коагулирующих химикалий с водой в достаточной пропорции, после чего вода оставляется в спокойном состоянии в бассейне или медленно пропускается через отстойный бассейн в горизонтальном или вертикальном (снизу вверх) направлении, чтобы коагулянт осел на дно [52].

Продолжительность пребывания воды в коагуляционном бассейне лучше всего определять на основе испытаний, проведенных в условиях работы проектируемого бассейна. На продолжительность пребывания воды влияют качество воды, вид коагулянта, температура и другие свойства воды.

На существующих установках продолжительность пребывания воды в коагуляционных бассейнах колеблется от 1 до 12 час. Желательно рассчитывать коагуляционные бассейны таким образом, чтобы можно было изменять продолжительность пребывания в них воды.

Отстаивание с коагулированием обычно применяют как предварительную обработку воды перед фильтрованием. В табл. 46 были приведены некоторые данные, характеризующие эффект коагулирования.

**2. Управление процессом коагулирования.** Правильная работа коагуляционного бассейна может быть определена только в результате опытного коагулирования воды в лабораторных и полевых условиях.

Химическое регулирование процесса коагулирования затруднено вследствие исключительно слабой концентрации растворов, которые должны вступать в реакцию. К числу свойств воды, которые оказывают влияние на процесс коагулирования, относятся цвет, мутность, температура, щелочность, рН, жесткость и содержание свободной углекислоты.

Очень важным фактором является температура. Гораздо быстрее хлопья образуются при умеренной температуре; летом требуется большее количество коагулянта, чем зимой. Это ненормальное на первый взгляд явление, возможно, следует объяснить

тем, что коагуляция представляет собой электрохимическое явление и что сезонные колебания рН оказывают большее влияние, чем колебания температуры. При температурах ниже 4,4°C иногда трудно получить хорошее образование хлопьев<sup>1</sup>.

Поскольку образование хлопьев тесно связано с концентрацией водородных ионов и с соотношением между анионами и катионами<sup>2</sup>, регулирование рН является важным фактором управления процессом коагулирования. Для сильно окрашенных мягких болотных вод оптимальные условия для коагуляции имеют место при рН=3,8; для других вод рН может быть больше 8,0. Для большинства вод оптимальные условия для коагуляции бывают при рН несколько ниже 7,0. Оптимальные условия для различных коагулянтов обычно находятся в пределах рН, приведенных в табл. 47. На нескольких установках оказалась успешной добавка серной кислоты. Широко практикуется также добавка щелочи.

При мутных водах может оказаться необходимым применение записывающего потенциометра, который быстро показывает изменение рН. Коллометрические определения в этих случаях протекают слишком медленно.

Дополнительно к контролю за коагулированием желательны периодическое определение в лаборатории первоначального момента появления хлопьев; состояния хлопьеобразования по прошествии 5 мин. и 30 мин.; образования в верхней части цилиндра слоя осветленной жидкости; осаждаемости хлопьев в конце периода, соответствующего продолжительности пребывания в отстойном бассейне.

Состояние хлопьеобразования можно наблюдать во все важные моменты с помощью луча света, просвечивающего воду, направленного на черный крест, нарисованный на белом фоне, или с помощью другого подобного приспособления. Наиболее желательной величиной хлопьев является величина несколько большая булавочной головки. Крупные частицы оседают медленнее вследствие большой поверхности, находящейся в контакте с водой; они хрупки и имеют тенденцию распадаться на мелкие частицы, приближающиеся к коллоидным.

На некоторых установках успешно применяли добавку коагулянта в двух или более точках процесса обработки, т. е. применяли так называемое двойное или дробное коагулирование. Однако такое коагулирование не получило широкого распространения.

На некоторых установках с успехом применяют рециркуляцию осадка, выпавшего из воды, поступающей в коагуляционный бассейн. Этот осадок служит катализатором, представляя собой ядра, вокруг которых образуются хлопья, затем осаждающиеся. Такой процесс протекает особенно эффективно в бассейнах с движением воды снизу вверх, через слой осевшего осадка.

<sup>1</sup> Теория образования хлопьев описана Т. R. Camp, Proc. Am. Soc. Civil Engrs, September, 1953, p. 283-1.

<sup>2</sup> См. также W. F. Langelier and H. F. Ludwig, J. A. W. W. A., February, 1949, p. 163.



**3. Коагулянты**<sup>1</sup>. Некоторые вещества, из большого количества используемых для коагулирования воды, приведены в табл. 47. К числу наиболее часто применяемых коагулянтов относятся сернокислый алюминий, железный купорос вместе с гидроксидом кальция и алюминат натрия.

Иногда в качестве коагулянта используются и другие химикаты.

Активированный сернокислый алюминий, представляющий собой обработанный кислотой нерастворимый силикат, содержит 18,74%  $Al_2O_3$ . Он образует прочные хлопья и дает хорошие результаты при коагулировании воды с небольшой мутностью.

Алюмо-аммиачные квасцы  $[(Al_2(SO_4)_3 (NH_4)_2 24H_2O)]$  применяются в качестве коагулянтов при напорных фильтрах, так как растворимость алюмо-аммиачных квасцов составляет около  $1/20$  растворимости сернокислого алюминия. В них содержится аммония от 3 до 7% по весу.

Черный сернокислый алюминий представляет собой сернокислый алюминий, содержащий от 2 до 5% активированного угля. Он применяется как для коагулирования, так и для удаления запаха и привкуса.

Хлорированный купорос представляет собой смесь  $FeCl_3$  и  $Fe_2(SO_4)_3$ . Коагулирование им более эффективно, чем обычным купоросом. Хлорированный купорос особенно полезен при коагулировании в сочетании с предварительным хлорированием. К его положительным свойствам относится образование прочных хлопьев, хорошая оседаемость хлопьев с небольшим выносом на фильтр, широкие пределы оптимальных рН — от 6 до 9, образование компактных хлопьев гидроокиси железа, которая не растворяется в воде при величинах рН выше 3,5.

Действие хлорированного купороса частично более эффективно в отношении удаления цвета по сравнению с гидроксидом и гидроокисью железа с коллоидами, имеющими изоэлектрическую точку ниже 7,0\*. На практике он не получил широкого распространения.

Глина, бентонит, фулерова земля и другие способные к адсорбции глины могут быть применены для коагулирования относительно чистых вод, особенно совместно с другими коагулянтами такими, как сернокислый алюминий.

Применение этих коагулянтов, ввиду их адсорбирующих свойств, иногда может быть эффективным при удалении привкуса и запаха.

Алюминат натрия ( $NaAlO_2$ ) может применяться в концентрации около 3,4 мг/л вместе с сернокислым алюминием для коагулирования холодной воды. Он применяется также при умягчении

<sup>1</sup> См. также С. R. Cox, Water Supply Control, New York State Dept, Health, Bull. 22, 1943, p. 48.

\* См. также L. L. Hedgepeth, Ind. Eng. Chem., September, 1931, p. 534.

Химикалии, применяемые при обработке воды<sup>1</sup>

Химикалии	Объемный вес в кг/м <sup>3</sup>	Отрицательные свойства	Требуемый приблизительный объем для хранения (м <sup>3</sup> т) и вид упаковки	Материал устройств для хранения	Крепость раствора в ‰ и свойства	Материалы, годные для тары при перевозке	Пределы pH для оптимальной коагуляции	Обычная доза гран/галл (мг/л)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сернокислый алюминий [Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O], квасцы	624	Пыльный	0,94. В мешках (91 кг); боченках по 182 кг и насыпью	Бетон, сталь или дерево	0,25—5,0* кислота, коррозионная	Свинец, резина, кислотоустойчивая бронза, чугун	5,5—8,0**	0,3—0,5 (5—8)
Железный купорос (FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	737	Слеживается при температуре выше 20°C во влажном воздухе, придает окраску	0,88. В мешках по 91 кг, боченках по 182 кг и насыпью	Бетон, сталь или дерево	0,25—6,0* кислота коррозионная	Резина, свинец, дюрайрон и нержавеющей сталь марки 18-8	8,5—11,0	0,3—3,0 (5—50)
Оксид кальция <sup>3</sup> (CaO), негашеная известь	104	Пыльный, слеживается при нахождении на воздухе	0,91. В деревянных бочках, металлических бабанах, насыпью	Бетон, сталь или дерево	До 25* щелочная, дает твердый осадок	Резина, чугун, цемент	—	—

Химикалии	Объемный вес в кг/м <sup>3</sup>	Отрицательные свойства	Требуемый приблизительный объем для хранения (м <sup>3</sup> /т) и вид упаковки	Материал устройств для хранения	Крепость раствора в % и свойства	Материалы, годные для тары при перевозке	Пределы pH для оптимальной коагуляции	Обычная доза гран/галл (мг/л)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гидроокись кальция Ca(OH) <sub>2</sub> , гашеная известь	801	Пыльный	В мешках или насыпью	Бетон, сталь или дерево	До 20*, щелочная, дает твердый осадок	Резина, чугун, цемент	—	—
Алюминат натрия Na <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	929	Гигроскопичен	1,8 м <sup>2</sup> /т, в барабанах <sup>5</sup>	Хранится в тех же барабанах, в которых транспортируется	0,25—6,0*, щелочной	Резина, чугун	—	0,2—2,0 (3—30)
Карбонат натрия (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), кальцинированная сода	—	Пыльный	0,94, тот же, как и для сульфата алюминия	То же, что и для сернокислого алюминия	До 6,0*, щелочной	Резина, чугун	—	—
Хлористое железо	1 009	Коррозийная кислота, придает окраску	1,73 (См. примечания 6 и 9)	Бетон, облицованный резиной, сталью или деревом	3—4, кислота, коррозионная	Резина, чугун, кислотостойкие материалы	5,0—11,0	0,5—3,0 (8—50)

Химикалии	Объемный вес 1 в ка/м <sup>3</sup>	Отрицательные свойства	Требуемый при- близительный объем для хране- ния (м <sup>3</sup> /т) и вид упаковки	Материал устройств для хранения	Крепость раствора в % и свойства	Материалы, годные для тары при перевозке	Пределы рН для оптималь- ной коагуля- ции	Обычная доза гран/галл (мг/л)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Серная окись же- леза <sup>8</sup> Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1 121	Придает окраску	0,79, то же, что и для серно- кислого алю- миния	То же, что и для серно- кислого алю- миния	1—6,5, кис- лота, кор- розивная	Резиновая об- лицовка дю- райрон, и не- ржавеющая сталь марки 18—8	5,0—11,0	0,5—3,0 (8—50)
Силикат натрия (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·Na <sub>2</sub> O + + SiO <sub>2</sub> )	—	Щелочной и липкий	4,6, в ба- рабанах	Хранится в тех же бара- банах, в ко- торых транс- портируется	До 6	Резина и сталь	—	—

<sup>1</sup> См. также Water & Sewage Works, May, 1949, p. 184.

\* Может также добавляться в сухом виде.

<sup>3</sup> При продолжительном хранении CaO расширяется и может разорвать тару.

\*\* Применяется также на смягчительных установках при рН выше 10,0.

<sup>5</sup> В твердом состоянии—в стальных барабанах; в мешках по 45 кг. В жидком состоянии 32% Na<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>+10% NaOH в стальных барабанах.

<sup>6</sup> Кристаллы—6 % в боченках из твердой древесины емкостью по 208 л; безводный—в стальных барабанах по 45 кг; жидкий—42% в баллонах по 45 л, в цистернах, облицованных резиной.

<sup>7</sup> J. E. Kerlake and others, J. A. W. W. A., October, 1946, p. 1161; от 4,0 до 11,0.

<sup>8</sup> В безводной форме 9 % Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>; в кристаллической форме—60% (FeSO<sub>4</sub>)<sub>8</sub>.

<sup>9</sup> Перевозится в виде 39—45%-ного раствора в стеклянных бутылках, облицованных резиной, в барабанах и цистернах.



воды известково-содовым способом для осаждения карбоната кальция и гидроокиси магния.

Серная кислота может быть применена для регулирования рН, регенерации катионитовых материалов при умягчении и для коагулирования.

К числу других химикалий, применяющихся для коагулирования, относятся хлорид кальция, гидроокись бария и сульфат натрия.

Выяснено, что добавка кремнезема<sup>1</sup> в форме коллоидной водной окиси кремния, обладающего сильным отрицательным зарядом, значительно сокращает время, требуемое для коагулирования с алюминием или гидрозакисью железа<sup>2</sup>, но она малоэффективна при коагулировании в сочетании с солями железа. Более эффективная форма кремнезема, известная под названием активированного кремнезема, представляет собой результат реакции между силикатом натрия и серной кислотой. Кремнезем только способствует коагуляции, но сам он не является коагулянт<sup>3</sup>. При умягчении воды с коагулированием квасцами применение активированной кремнекислоты значительно ускоряет процесс коагулирования. Добавляемое количество кремнекислоты должно составлять приблизительно 40% от используемого сернокислого алюминия. Применение кремнекислоты не везде одобряется, так как небольшие ее количества в воде могут разрушать котлы<sup>4</sup>.

В табл. 48 приведены приблизительные химические составы некоторых коагулянтов и их стоимость.

**4. Сернокислый алюминий.** Сернокислый алюминий  $[(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)]$ , обычно называемый квасцами, является наиболее широко применяемым коагулянт<sup>5</sup> благодаря его способности давать хорошее хлопьеобразование, относительной экономичности, стабильности и легкости транспортирования<sup>5</sup>. Он изготавливается на некоторых установках из бокситов<sup>6</sup>.

Рыночные квасцы представляют собой кристаллы обычно темно-серого или желтоватого цвета. Они поставляются в кусках, в гранулированном виде или в порошке и содержат около 17%  $Al_2(SO_4)_3$ . Это — кислая соль, вызывающая коррозию многих металлов и некоторых бетонов. Растворимость ее составляет 86,9 частей на 100 частей воды при температуре 0°. При добавке к воде необходимо, чтобы вода имела достаточную щелочность.

**5. Коагулирование сернокислым алюминием.** Для того чтобы сернокислый алюминий мог вступить в реакцию, образуя осадок,

<sup>1</sup> См. также Н. Р. Най, J. A. W. W. A., June, 1944, p. 626; Water & Sewage Works, December, 1946, p. 479.

<sup>2</sup> См. также Н. J. Wheaton and J. G. Walker, Chem. Inds., 1950, pp. 710, 802.

<sup>3</sup> См. также Н. Р. Най, Water & Sewage Works, May, 1953, p. R-107.

<sup>4</sup> См. также R. V. Andrews J. A. W. W. A., January, 1954, p. 82.

<sup>5</sup> См. также J. E. Kerslake and others, J. A. W. W. A., Oktober, 1946, p. 1161.

<sup>6</sup> См. Specifications for Bauxite, там же, July, 1950, p. 707.



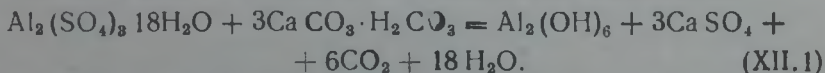
Приблизительный состав и стоимость коагулянтов

Химические составляющие	Химический коагулянт						Объемный вес в кг/л <sup>1</sup>
	Алюминиево-калиевые квасцы	Сернокислый алюминий	Сульфат железа	Аммиачные квасцы	Химикалии	Стоимость в долларах за 100 фунтов (45 кг) [53]	
Нерастворимые вещества . . . . .	—	0,30	0,50	—	Сернокислый алюминий	1,10	961
Глинозем (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	10,77	17,00	—	11,0	Железный купорос	0,70	1 057
Железо (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и FeO) . . . . .	—	0,25	57,50	—	Известь Ca(OH) <sub>2</sub>	0,35	576
Калий (K <sub>2</sub> O) . . . . .	9,93	—	—	—	Сода	1,00	673
Трехокись серы (SO <sub>3</sub> ) . . . . .	33,76	38,70	28,80	26,0	Алюминат натрия	2,70	—
Сульфат аммония (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> * . . . . .	—	—	—	14,0	Хлорное железо	2,05	—
Сернокислый алюминий (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ) . . . . .	—	—	—	37,0	Отбелная глина	0,75	—
Вода . . . . .	45,54	43,75	13,20	0,5	Активированный уголь	—	216
					Активированные квасцы		929

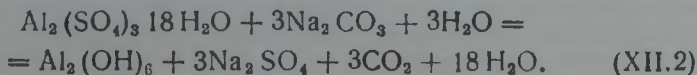
\* См. Specifications. J. A. W. W. A., November, 1950, p. 1087.

необходимо, чтобы вода, в которую он вводится, имела некоторую щелочность, обычно в виде карбоната кальция. Предположительно, реакции, которые происходят при коагулировании, следующие:

1. Сернокислый алюминий и естественная щелочность

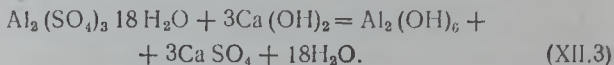


2. Сернокислый алюминий и сода<sup>1</sup>



<sup>1</sup> См. Specifications for Soda Ash., J. A. W. W. A., February, 1952, p. 165

### 3. Сернокислый алюминий и известь



В действительности, происходят гораздо более сложные химические явления. Количество сернокислого алюминия, необходимое для хорошей коагуляции, нельзя определить с помощью химического анализа. Теоретически на 100 мг/л рыночного сернокислого алюминия  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$  требуется 0,9 мг-экв/л щелочности воды; практически же требуемая величина щелочности может колебаться от 0,47 мг-экв/л для сильно окрашенных вод до 0,70—0,82 мг-экв/л. Практически коагулянт применяется в большем количестве, чем это требуется по теоретическому расчету, так как часть алюминия непосредственно вступает в соединение с примесями, имеющимися в воде.

**6. Практические соображения по применению сернокислого алюминия.** Отсутствие достаточной природной щелочности для завершения реакции (XII.1) — необычное явление. Хорошо известно, что ни одна из этих реакций не доходит до конца, так как большинство реакций — обратимы и равновесие каждой зависит от всех остальных. Если естественная щелочность воды менее 0,4 мг-экв/л, то следует добавлять около 35 мг извести или 50 мг кальцинированной соды на 100 мг сернокислого алюминия, вводимого в воду. Реакции выражаются уравнениями (XII.2) и (XII.3). В случае добавки карбоната натрия или извести для увеличения щелочности воды химикалии следует тщательно перемешивать с сырой водой непосредственно перед добавкой сернокислого алюминия. Если добавка производится задолго до введения коагулянта, то может произойти частичное умягчение воды, что потребует добавки большего количества химикалий. Дозы, применяемые на практике, колеблются от 5 до 35 мг/л, в зависимости от многих факторов, определяемых характером происходящих реакций.

**7. Затруднения, связанные с применением сернокислого алюминия.** Затруднения, связанные с применением сернокислого алюминия, упоминаемые в п. 4 и 6 настоящей главы, заключаются в небольшом увеличении концентрации сернокислого алюминия, увеличении содержания углекислоты и образовании коллоидного осадка в присутствии натрия или калия. Последнего затруднения можно избежать путем применения около 3,4 мг/л алюмината натрия.

Если необходимо увеличение щелочности для улучшения коагуляции, то имеется опасность появления окраски воды, если добавленная щелочь слишком сильна<sup>1</sup>. Реакция редко завершается полностью; иногда присутствие коллоидного вещества с высокой концентрацией замедляет реакцию, вследствие чего остаточный сернокислый алюминий остается в воде, поступающей на

<sup>1</sup> См. также Water and Water Eng., March, 31, 1934, p. 177.

фильтры. Процесс коагулирования трудно контролировать, пользуясь показателем рН, так как оптимальные пределы величины этого показателя малы, а применение сернокислого алюминия понижает рН. Если оптимальная рН очень низка (4,4—5,0), как, например, в некоторых мягких окрашенных водах, то может оказаться более экономичным понижать рН путем добавки серной кислоты, в результате чего потребуются меньшие концентрации сернокислого алюминия. Если производится вторичное или дробное коагулирование, то можно добавить алюминат натрия, а также известь, увеличив рН до 6,5 для улучшения образования хлопьев гидроокиси алюминия при добавке сернокислого алюминия.

**8. Остаточный алюминий.** В воде, коагулированной с помощью сернокислого алюминия, содержатся соединения алюминия в растворе. Точная природа этих соединений так сложна, что на практике в анализах их указывают как алюминий или как окись алюминия ( $Al_2O_3$ ), определяя концентрацию алюминиевых ионов ( $Al^{3+}$ ) и превращая в эквивалентную окись алюминия, умножая на 3,77. На самом же деле остаточный сернокислый алюминий нельзя указывать подобным образом, т. е. допускать, что остаточное соединение алюминия есть сернокислый алюминий. Так как гидроокись алюминия растворима в воде до величины 0,3—0,5 мг/л, то остаточной должна быть окись алюминия, но количество ее не должно превышать 0,3 мг/л. Для обычного рабочего контроля вполне достаточны колориметрические определения с применением красного ализарина или синего сандала<sup>1</sup>.

**9. Коагулирование солями железа.** Соли железа вызывают более быстрое образование хлопьев, плотных, быстро оседающих и менее легко разрушаемых, чем сернокислый алюминий, особенно при низких температурах. Эффективность солей железа при различных рН делает полезным применение при их удалении марганца, у которого рН выше 9,0 во избежание растворения хлопьев, когда добавляется известь для снижения коррозионности воды, а также в случае коагулирования окрашенных вод при рН ниже 5,0.

**10. Коагулирование железным купоросом<sup>2</sup>.** Железный купорос имеет преимущество по сравнению с сернокислым алюминием в том отношении, что он дешевле и образует более тяжелые и быстрее осаждающиеся хлопья. Большим недостатком железного купороса является необходимость применения вместе с ним извести. Необходим более тщательный химический контроль, так как имеется опасность последующего выпадения осадка в распределительной системе вследствие реакции между остатком извести и бикарбонатом щелочи. Железный купорос не годится для обра-

<sup>1</sup> См. также С. R. Cox, Water Works Eng., Feb. 17, 1937, p. 217.

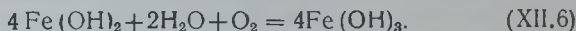
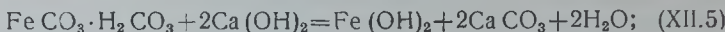
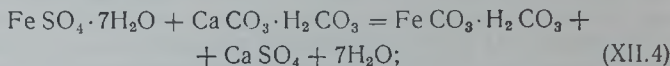
<sup>2</sup> См. Standard Specifications, J. A. W. W. A., Oktober, 1950, p. 975.

ботки мягких окрашенных вод потому, что в этих водах коагуляция лучше всего протекает при рН ниже 7,0<sup>1</sup>.

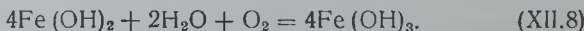
При добавке щелочи к окрашенным водам цвет их стабилизируется и поэтому применение железного купороса ограничивается теми водами, в которых подщелачивание не препятствует удалению цветности. Железный купорос больше всего годится для коагулирования мутных вод с высокой природной щелочностью. В естественных водах щелочность обычно недостаточна для реакции с железным купоросом, так что обычно приходится добавлять известь для создания хлопьев и во избежание образования растворимых соединений железа, остающихся в обработанной воде.

**11. Реакции с железным купоросом.** Химические реакции, которые происходят при коагулировании железным купоросом с добавкой извести, зависят частично от порядка, в котором химикаты добавляются к воде.

Если сначала добавляют железный купорос, то происходят следующие реакции



Когда сначала добавляют известь, то происходят реакции



Гидрат закиси железа  $\text{Fe(OH)}_2$  образует тяжелый, студенистый осадок, который, однако, окисляется в соответствии с уравнением (XII.6) в гидроокись железа  $\text{Fe(OH)}_3$ , тоже образующую студенистый осадок.

**12. Требуемое количество железа и извести.** Подобно другим коагулянтам, необходимое количество железного купороса чаще всего определяется путем опытной обработки воды.

Требуемое количество извести зависит от количества добавляемого железного купороса и от содержания в воде углекислоты, которую следует нейтрализовать. Небольшой избыток извести, 1—5 мг/л, следует давать в тех случаях, когда вода имеет щелочность, достаточную для осаждения гидроокиси железа.

Следует избегать слишком большого избытка извести, чтобы предотвратить ее последующее осаждение в распределительной системе. Количество железного купороса, которое следует добавить, зависит главным образом от мутности, природной щелочности и содержания свободной углекислоты в сырой воде.

<sup>1</sup> См. также E. Bartow and others, Proc. Am. Soc. Civil Engrs., December, 1933, p. 1529.

**13. Аллюминат натрия.** Аллюминат натрия ( $\text{NaAlO}_2$ ) представляет собой щелочное соединение. В обычном продукте лучшего сорта содержится обычно  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 55%,  $\text{Na}_2\text{O}_3$  — 34%,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — 4,5%,  $\text{Na}(\text{OH})$  — 6,3%. Применение аллюмината натрия дает некоторые преимущества при определенных условиях, потому что отпадает необходимость в добавке какой-либо щелочи. Благодаря быстрой реакции и присутствию щелочи происходит немедленное осаждение всей гидроокиси аллюминия. Аллюминат натрия не увеличивает некарбонатную жесткость и может смешиваться с раствором известня и кальцинированной соды, исключая таким образом дополнительное оборудование.

К числу других преимуществ можно отнести отсутствие коррозионных свойств в воде, широкий диапазон pH, при которых получается хорошая коагуляция, быстрое образование хлопьев и отсутствие необходимости в дополнительной щелочи. Однако высокая стоимость этого коагулянта препятствует его широкому применению<sup>1</sup>.

**14. Коагулянты, содержащие трехвалентное железо.** Хлористое железо ( $\text{FeCl}_3$ ), сернокислая окись железа [ $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ ] и их смесь, известная под названием хлорированного купороса, являются коагулянтами, эффективность которых с наибольшей силой проявляется при обработке сточных вод<sup>2</sup>. К числу положительных свойств коагулянтов, содержащих трехвалентное железо, можно отнести следующие свойства<sup>3</sup>: коагуляция эффективна при более широких пределах величины pH, чем в случае применения сернокислого аллюминия; время, необходимое для образования хлопьев и оседания их, во многих случаях значительно меньше, чем при сернокислом аллюминии; увеличивается продолжительность фильтрационного цикла, как показали некоторые испытания; успешно удаляется марганец при pH выше 9,0; в воде остается небольшое количество железа; удаляется сероводород и уменьшаются привкус и запах; уменьшается образование комков грязи по сравнению с хлопьями аллюминия; при некоторых условиях железные коагулянты более экономичны, чем гидроокись аллюминия<sup>4</sup>.

**15. Хлорное железо<sup>5</sup>.** При добавке в воду хлорного железа происходит следующая реакция



Гидроокись железа оседает, образуя коагулянт, который тяжелее гидроокиси аллюминия и требует меньшего времени для протекания процесса и менее тщательного регулирования pH. Кислотность, которая характеризует некоторые мягкие, сильно окисленные воды, делает невозможным их коагулирование сернокислым аллюминием. Однако соединения железа позволяют прове-

<sup>1</sup> См. Water and Water Eng. Mar. 31, 1934, p. 177.

<sup>2</sup> См. также С. G. Hyde, J. A. W. W. A., May, 1935, p. 631.

<sup>3</sup> См. также А. P. Black, там же, 1934, p. 1713.

<sup>4</sup> См. также Water Works & Sewerage, September, 1932, p. 301.

<sup>5</sup> См. также С. G. Hyde, J. A. W. W. A., May, 1935, p. 631.



сти успешное коагулирование этих вод. Также успешно применяется хлорное железо в водах, содержащих сероводород, потому что в противоположность сернистой кислоте алюминию, хлорное железо является окислителем, в то время как сернистая кислота — восстановителем. При обработке сульфидных вод трехвалентное железо восстанавливается до двухвалентного (закиси железа), после чего оно ведет себя подобно железному купоросу при процессе с известью и железом. Успешное применение порошкового известняка в соединении с хлорным железом уже описано<sup>1</sup>.

Раствор хлорного железа оказывает сильное вяжущее действие [54], вследствие чего часто приходится уплотнять деревянные резервуары-хранилища. Они также оказывают коррозионное действие на металл, поэтому хранение и транспортировка должны производиться не в металлической таре, а в керамической или из некоторых новых сплавов железа<sup>2</sup>. Рекомендуются также резина, стекло и нержавеющая сталь.

Хлорное железо нельзя применять при сухом дозировании вследствие его гигроскопичности. Его можно применять только в виде водного раствора, крепостью от 2% на небольших установках до 20% или более на хорошо оборудованных установках. Крепость раствора зависит также от степени точности, с которой должно производиться хлорирование.

**16. Хлорированный купорос.** Хлорированный купорос представляет собой смесь хлорного железа и сульфата окиси железа, приготовленную путем добавки хлора к раствору железного купороса в количестве 1 части хлора на 7,8 частей купороса. Эта соль в высшей степени коррозионна и с нею можно обращаться так же, как с хлорным железом. Эффективность купороса как коагулянта увеличивается, и исключается необходимость в большой щелочности воды. Коагулянт можно приготовить на самой установке путем дозировки раствора купороса с хлором. К числу положительных свойств хлорированного купороса, как коагулянта относятся<sup>3</sup>: хорошее образование плотных хлопьев; хорошее осаждение хлопьев (только небольшой остаток их поступает на фильтры); коагуляция протекает эффективно в широких пределах рН — от 8 до 6; компактные хлопья гидратной окиси железа, которые не растворяются в щелочных водах, образуются при всех значениях рН свыше 3,5; коагулянт особенно эффективен в отношении удаления цвета по сравнению с относительно неэффективными гидратами двух- и трехвалентного железа, если цветность обуславливается присутствием в воде коллоидов, имеющих изоэлектрическую точку ниже 7,0\*.

<sup>1</sup> См. также С. Н. Spandling, J. A. W. W. A, November, 1941, p. 793.

<sup>2</sup> См. также J. M. Potter, Water Works & Sewerage, January, 1935, p. 12.

<sup>3</sup> См. также L. C. Billions, Water Works & Sewerage, January, 1934, p. 73.

\* См. также Hedgepeth, сноска на стр. 210.

**17. Обращение с железными коагулянтами.** Обращение с хлорным железом и хлорированным купоросом весьма затруднительно, так как они очень коррозионны и гигроскопичны. Осадок в отстойных бассейнах и промывочная вода окрашиваются в типичный коричневатый цвет железа. С хлорным железом следует обращаться, как указано в п. 15 настоящей главы.

Железный купорос не поглощает влагу из воздуха и менее коррозионен, чем хлорное железо, и поэтому его хранение и транспортирование связаны с меньшими затруднениями. Он не растворяется быстро; для успешного применения его требуется специальное оборудование. Водное отношение, приблизительно 2 части воды на 1 часть железного купороса, должно тщательно контролироваться, потому что при приготовлении раствора выделяется значительное количество тепла, которое способствует растворению, если объем воды не слишком велик. Приготовленные растворы должны иметь крепость не менее 1% для предотвращения быстрого гидролиза коагулянта. Гидролиз происходит обычно мгновенно при  $pH=5,0-6,0$ .

**18. Коагулирование глинами.** Экспериментальное коагулирование глиной проводилось на нескольких водоочистных станциях, но на практике оно применяется редко. При коагулировании глиной, возможно, образуются коллоидные ядра, адсорбирующие мелкодисперсные и коллоидные вещества в воде. Для этой цели годны только особые виды глины, и стоимость процесса зависит от наличия их на месте. Глина применялась с различными дозами, которые колебались от 1,7 до 12 мг/л и более<sup>1</sup>.

Бентонит, сильно увеличивающийся в объеме при увлажнении, обладает свойством ионного обмена<sup>2</sup> и, возможно, что различные коллоидных свойств разных глин может быть обусловлено различием составов в результате обмена катионов. Путем испытаний было установлено, что коагулирующее действие бентонита лишь в незначительной степени зависит от  $pH$  воды и что при одинаковых дозах хлопья бентонита однороднее, массивнее и они быстрее оседают, чем хлопья сернокислого алюминия.

**19. Электролитическое коагулирование<sup>3</sup>.** Электролитическое коагулирование проводилось путем пропускания воды между алюминиевыми пластинами, расположенными на расстоянии около 3 мм друг от друга. Алюминиевые пластины были присоединены поочередно к положительному и отрицательному полюсам источника тока большой силы и низкого напряжения. При этом в воду переходят трехвалентные ионы алюминия. Преимуществами процесса электролитической коагуляции являются быстрое образование хлопьев, независимость от  $pH$ , лучшее осаждение хлопьев,

<sup>1</sup> См. также Carl Leopold, Water Works & Sewerage, August, 1933, p. 304; R. I. Dodd, J. Penna, Water Works Operators' Assoc., 1932, p. 65.

<sup>2</sup> См. также H. L. Olin and H. W. Peterson, J. A. W. W. A., April 1937, p. 513.

<sup>3</sup> См. также F. E. Stuart Jr., Public Works, April, 1947, p. 27.

большая их прочность. Стоимость может быть различной, но она редко является препятствием для применения этого способа коагулирования.

Опыт применения этого способа невелик, но испытания, проведенные на очистной установке на реке Потомак<sup>1</sup>, указывают на потребление электроэнергии в количестве приблизительно 1080 квт-ч на 1 млн. галл. (285 квт-ч на 1000 м<sup>3</sup>). Общая стоимость, за исключением небольших накладных расходов, составляет 18—30 долларов, из которых 15,84 доллара составляет стоимость энергии, а остальные — стоимость алюминиевых листов (при стоимости их 480 долларов за 1 т).

**20. Известь.** Известь применяется при обработке воды в меньшей степени для коагулирования, а главным образом в других целях, как-то: для увеличения рН при коагулировании; для уменьшения карбонатной жесткости при умягчении воды; уменьшения количества растворенной углекислоты как дезинфицирующего вещества; для увеличения продолжительности фильтроцикла при наличии в воде морских водорослей<sup>2</sup>.

В табл. 47 указаны физические и химические свойства извести.

**21. Стоимость реагентов.** В отношении стоимости коагулянты можно располагать в следующем порядке, начиная от самых дешевых:

- 1) известь и железо;
- 2) только сернокислый алюминий;
- 3) сернокислый алюминий и известь;
- 4) сернокислый алюминий и кальцинированная сода;
- 5) алюминат натрия.

В табл. 48 приведена примерная стоимость различных химических за 100 фунтов (45 кг).

**22. Обращение с реагентами и хранение их.** Сухие реагенты доставляются на водоочистные установки в бумажных или брезентовых мешках, в деревянных бочках, обычно с прокладкой бумагой и насыпью, иногда в крытых товарных вагонах, оклеенных бумагой. Реагенты следует хранить в сухом месте при умеренной и равномерной температуре, чтобы они не поглощали влагу из воздуха и не слеживались. Температура выше 21°C нежелательна. Предпочтительно хранение реагентов в нижнем этаже или в верхних этажах над помещением реагентного хозяйства, чтобы можно было использовать силу тяжести самих реагентов при приготовлении растворов. Реагенты в мешках обычно складываются штабелем на полу высотой в 2 мешка. Реагенты, доставляемые насыпью, следует хранить в бункерах, рассчитанных и расположенных таким образом, чтобы реагенты можно было доставать со дна бункеров и доставлять куда необходимо. Бункеры должны быть

<sup>1</sup> См. также С. F. Bonilla, Water and Sewage, March, 1947, p. 21.

<sup>2</sup> См. также J. R. Baylis, Pure Water, August, 1949, p. 113.

относительно глубокими с небольшим отверстием, чтобы лишь небольшое количество реагентов подвергалось атмосферному воздействию. Уклон дна бункера должен быть не менее  $45^\circ$  к вертикали. Коррозионные летучие и впитывающие влагу химикалии, такие, как хлорное железо (в твердом виде и в виде раствора), алюминат натрия, гидроокись натрия<sup>1</sup>, хлористый аммоний, а также другие жидкие и газообразные материалы, должны храниться в той же таре, в которой они транспортируются. В табл. 49 перечислены некоторые материалы, используемые для тары при хранении и транспортировании химикалий.

При обращении с химикалиями применяются ручные тележки, подъемники, тельферы, краны, механические и пневматические транспортеры. Пневматические транспортеры особенно удобны для транспортирования сухих, пыльных химикалий таких, как гашеная известь.

**23. Приготовление растворов.** Приготовление растворов химикалий, которые легко растворяются, таких, как сернокислый алюминий, железный купорос или кальцинированная сода, производится путем засыпки химикалий в металлическую корзину, перфорированный бетонный ящик или перфорированный деревянный ящик, а также путем разбрызгивания теплой воды на химикалии. Раствор реагентов хранится в растворных резервуарах. Резервуары должны иметь такие размеры, чтобы был вмещен запас раствора для работы в течение одной смены или чтобы можно было растворить содержимое одного транспортного контейнера. В первом случае указанные размеры способствуют повышению производительности установки, а во втором — удобству и безопасности эксплуатации.

Другим способом является применение растворного бака, в который загружаются химикалии и через который протекает вода, как показано на рис. 95. В баке помещается такое количество реагентов, чтобы из выпускной трубы выходил насыщенный раствор. Количество раствора должно быть пропорционально количеству воды, протекающей в магистральной водопроводной трубе.

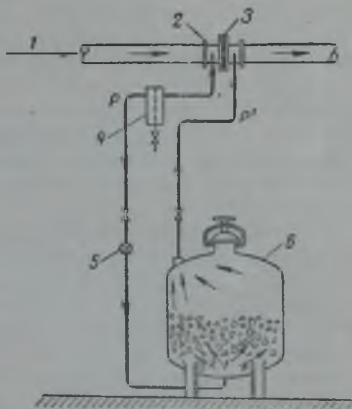


Рис. 95. Дозатор горшочкового типа (по материалам Permutit Co)

1 — сырая вода; 2 — пропорциональный дозатор; 3 — диафрагма; 4 — труба для осадка; 5 — регулирующая задвижка; 6 — резервуар с кристаллическим сернокислым алюминием

<sup>1</sup> См. Specifications, J. A. W. W. A., December, 1951, p. 1021.



Рекомендуемые крепости растворов приведены в табл. 47. Растворы, которые подаются непосредственно в обрабатываемую воду, должны иметь меньшую концентрацию, чем насыщенный раствор, с целью более точного дозирования. Однако слишком слабые концентрации нежелательны ввиду возможности возникновения преждевременных химических реакций и неудобства работы с большими объемами раствора.

**24. Хранение химических растворов.** Тара для хранения химических растворов может быть изготовлена из дерева, стали, бетона, стекла, резины, латуни, меди, свинца и металлических сплавов. Материалы, которые можно использовать для изготовления тары, перечислены в табл. 47 и 49. Дерево и сталь широко не применяются вследствие их недолговечности при действии большинства химикалий, используемых при обработке воды. Их можно предохранять с помощью кислотостойкой краски, битумных соединений или свинцовой облицовки, например, сталь может быть покрыта эмалью.

Слабые кислотные растворы можно хранить в бетонных, чугунных, эмалированных или облицованных свинцом резервуарах.

Щелочные растворы можно хранить в чугунных резервуарах. Гашение извести следует проводить только в чугунном резервуаре, так как выделяемое тепло может действовать разрушающе на большинство других материалов. Хлорную известь следует хранить в облицованных резиной или стеклянных резервуарах.

Таблица 49

Материалы, пригодные для изготовления тары под химикалии\*

Материал	Сернокислый алюминий	Сульфат железа	Активированная кремнекислота	Щелочи	Хлорная вода	Фтористые соединения
Сталь или чугун . . . . .	—	—	S	S	—	—
Латунь или бронза . . . . .	S	—	S	—	—	—
Нержавеющая сталь, тип 316 . . . . .	S	S	S	S	—	—
Нержавеющая сталь, тип A20 . . . . .	S	S	S	S	—	—
Свинец . . . . .	S	S	S	—	—	—
Резина . . . . .	S	S	S	S	S	S
Полиэтилен . . . . .	S	S	S	S	—	S
Усколит . . . . .	S	S	S	S	S	S
Поливинилхлорид . . . . .	S	S	S	S	S	S
Винилиденхлорид . . . . .	S	S	S	S	S	S
Фенольные смолы . . . . .	S	S	—	—	S	S
Фурановые смолы . . . . .	S	S	S	S	S	S
Стекло и стеклянная облицовка . . . . .	S	—	—	—	S	—
Фарфор и плотная керамика . . . . .	S	S	—	—	S	—
Дерево . . . . .	S	S	S	—	—	—

S — означает, что материал удовлетворительный для этого химикалия.

\* Из L. R. Honnaker and M. L. Monack, J. A. W. W. A, May, 1953, p. 469.



**25. Перемешивание.** Перемешивание большинства растворов необходимо для предотвращения выпадения из них осадка и расслаивания [55]. В резервуаре должно быть по меньшей мере две лопасти, вращающиеся в противоположных направлениях во избежание образования вихря. Для химикалий, на которые такое механическое перемешивание не действует, можно применять перемешивание с помощью воздуха.

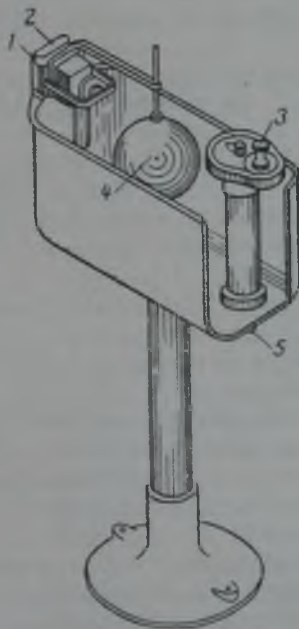


Рис. 96. Регулируемый дозатор (по материалам Infilco)

1 — впускное отверстие для реагентов диаметром 19 мм; 2 — клапан, обеспечивающий постоянное напор; 3 — микроизмеритель, регулирующий подачу реагента; 4 — ползвок; 5 — выпускное отверстие для реагента диаметром 32 мм

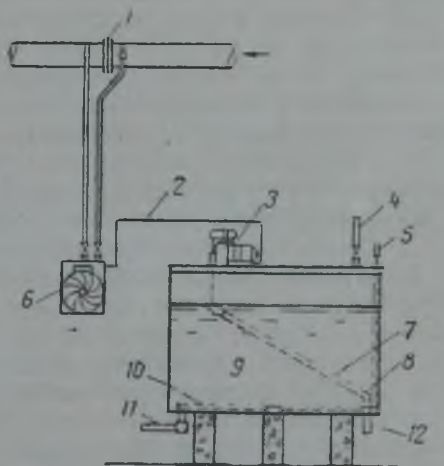


Рис. 97. Пропорциональный дозатор с электрическим регулированием (по материалам Permutit Co)

1 — диафрагма; 2 — электроцепь; 3 — устройство для регулирования подачи; 4 — наполнительная трубка; 5 — воздушная или паровая трубка; 6 — водомер с контактами; 7 — поворачивающаяся трубка; 8 — поворотное соединение; 9 — резервуар для раствора реагента; 10 — дырчатая труба для впуска воздуха; 11 — выпуск; 12 — к месту ввода реагента

**26. Механизмы для дозирования реагентов.** Простой механизм, подающий раствор в постоянном определенном количестве, может состоять из насадки, установленной в дне небольшого резервуара, содержащего раствор (рис. 96). Отверстие насадки и напор над ним, оба или каждый отдельно, могут быть отрегулированы механиком для получения любой производительности в пределах пропускной способности механизмов. На рис. 97 схематично изображен дозатор, подающий раствор химикалия в количестве, пропорциональном количеству обрабатываемой воды (про-

порциональный дозатор). Количество раствора, подаваемого в воду, можно определять по указателю расхода.

Подачу химического раствора в количестве, пропорциональном количеству обрабатываемой воды, можно регулировать с помощью:

- 1) подающего раствор насоса, работающего синхронно с главными насосами;
- 2) механизмов, регулируемых на основе принципа трубы Вентури;
- 3) создания искусственного сопротивления в сопле;
- 4) подвижной трубы в резервуаре, из которого подается раствор.

В резервуар раствор поступает через наполнительную трубку, как показано на рис. 97. Гибкий трос, прикрепленный к трубе, наматывается на барабан, который вращается со скоростью, пропорциональной расходу воды; при разматывании троса верхний конец подвижной трубы опускается;

- 5) непрерывного анализатора рН, который автоматически регулирует количество подаваемого раствора;
- 6) электрически управляемой поворотной трубы;
- 7) с помощью ряда двух приспособлений.

**27. Трубы для химических растворов<sup>1</sup>.** Материалы для труб могут быть применены такие же, как для резервуаров (см. табл. 47). Свинец, бронза и латунь пригодны для подачи щелочей, хотя латунь применяется редко. Резина, в виде шлангов, как будто хорошо выдерживает любой раствор; если гибкий шланг засоряется, то его можно легко прочистить путем изгибания и надавливания на него. Трубопроводы следует укладывать без изгибов с возможно большим уклоном к очистным отверстиям.

Следует избегать образования воздушных мешков в трубах. Если изгибы необходимы, следует предусмотреть отверстия для очистки в таких местах, чтобы можно было всунуть в трубу прут до следующего отверстия.

Отверстия для прочистки на прямых участках можно располагать на расстоянии 6 м друг от друга. В качестве отверстий для прочистки могут служить отводы, тройники или крестовины. Следует также предусмотреть возможность промывки труб водой под давлением; иногда желательно иметь запасные трубы, чтобы в то время, когда одна прочищается, другая находилась в эксплуатации.

**28. Механизмы для сухого дозирования.** Желательно наличие механизмов для сухого дозирования, так как они просты, занимают относительно мало места, чисты и не вызывают коррозию. Однако не все химикалии можно дозировать в сухом виде, вследствие слеживания, слипания и гигроскопичности. Для того чтобы

---

<sup>1</sup> См. также L. R. Hoppaker and M. L. Monack, J. A. W. W. A. May, 1953, p. 469.

можно было дозировать химикалии в сухом виде, они должны иметь следующие свойства: однородность размеров зерен, постоянство состава, постоянство в условиях изменения температуры и давления, негигроскопичность, стойкость цвета. Серноокислый алюминий достаточно мелкозернист и однороден и не представляет затруднений для сухого дозирования, которое особенно удобно, потому, что исключается коррозия труб, подающих химикалии, в случае мокрого дозирования. Гашеная известь представляет большие затруднения, чем серноокислый алюминий, вследствие того, что она забивает сопло сухих дозаторов и гигроскопична. Сухое дозирование железного купороса иногда связано с затруднениями, так как количество воды, необходимое для кристаллизации, зависит от температуры и в случае колебания температуры находящийся в бункере железный купорос может превратиться в твердую массу.

Сухие питатели делятся на три класса:

1) питатели производительностью меньше 45 кг/час, состоящие из бункера для химикалий, подающего механизма, привода и камеры для растворения;

2) питатели, в которых химикалии сохраняются в бункерах или в добавочных бункерах над питателем (состоящие из таких же частей, как питатели первого типа);

3) высокоскоростные дозаторы, располагаемые на этом же этаже, обычно снабженные ковшовым элеватором и комбинированным питателем.

Чаще применяется дозирование по объему, а не по весу.

Практически, во всех механизмах образование свода в массе химикалия, находящегося в бункере, предотвращается путем вибрационного или механического приспособления. Два типа сухих питателей показаны на рис. 98 (вверху и внизу).

Механизмы для сухой подачи приводятся в движение электродвигателями с постоянным числом оборотов. Хотя количество потребляемой энергии невелико, гидравлические двигатели нежелательны вследствие колебаний давления воды. Скорость подачи может регулироваться путем изменения расстояния между бункером и лотком и путем регулирования частоты вибрации лотка. Без дополнительного весового контроля объемные питатели требуют большого внимания для обеспечения точной дозировки. Имеющиеся в продаже сухие питатели надежны и точны. Они могут быть рассчитаны на постоянную или пропорциональную дозу. Они могут быть оборудованы приборами для измерения количества подаваемого реагента.

**29. Факторы, влияющие на процесс коагулирования.** К числу основных факторов, влияющих на процесс коагулирования, относятся:

- 1) количество и вид коагулянта;
- 2) свойства воды; количество взвешенных веществ, температура и рН;

3) продолжительность, эффективность и способ смешения.

Температура оказывает большее влияние на скорость образования хлопьев, чем на количество требуемого коагулянта. Однако, если скорость образования хлопьев слишком мала, то может

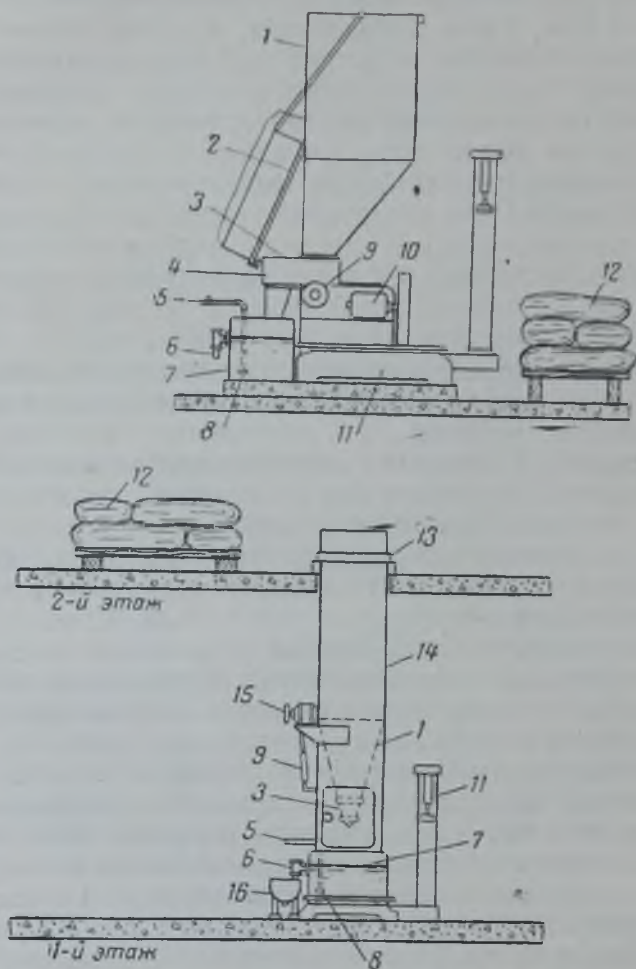


Рис. 98. Сухие дозаторы (из Paul A. Coffman, Water & Sewage Works, September, 1953, p. 338)

1 — питающий бункер; 2 — загрузочная дверца; 3 — подающий механизм; 4 — коробка передач; 5 — подача воды; 6 — выпуск раствора; 7 — растворная камера; 8 — перемешивающая струя; 9 — регулятор скорости; 10 — электродвигатель; 11 — весы; 12 — мешки с реагентом; 13 — гибкое соединение; 14 — удлиненный бункер; 15 — привод; 16 — приемная воронка

оказаться необходимым увеличить дозу химикалия. Оптимальные пределы рН для некоторых коагулянтов приведены ранее в табл. 47.

**30. Смешение, флокуляция и коагуляция.** Процесс подготовки воды к фильтрованию можно разделить на три стадии: 1) смешение



ние с добавляемыми химикалиями; 2) образование хлопьев (флокуляция) и 3) отстаивание.

Первый этап включает быстрое перемешивание воды с реагентами для обеспечения полной реакции. Второй этап состоит в медленном и осторожном перемешивании в течение времени, достаточном для образования хлопьев; во время третьего этапа происходит осаждение хлопьев, причем небольшое количество хлопьев поступает на фильтры для образования искусственной грязевой пленки на поверхности песка (см. главу XIII).

Смешение должно быть возможно быстрым. Продолжительность же периода образования хлопьев зависит от состава сырой воды, вида и количества используемого реагента, типа флокулятора и желательных результатов. Лучше всего продолжительность может быть определена с помощью лабораторных опытов с данной водой<sup>1</sup>.

Вообще, на практике принимают периоды хлопьеобразования в 30—60 мин. при коагулировании и несколько большие — при умягчении известью. Следует отметить, что хорошее хлопьеобразование при сильно мутных водах достигается быстрее, чем при водах с небольшой мутностью.

В перегородчатых смесителях и во флокуляторах без механического перемешивания рекомендуется<sup>2</sup> принимать горизонтальную скорость движения воды 0,15—0,3 м/сек.

Необходима большая осторожность, чтобы хлопья поддерживались во взвешенном состоянии при незначительном перемешивании. Это необходимо для предотвращения их разрушения. С этой точки зрения наилучшим оказалось вихревое движение, напоминающее снеговые вихри<sup>3</sup>.

Нежелательно образование больших, перистых и хрупких хлопьев или плотных, крепких хлопьев, которые не имеют адсорбционной способности.

**31. Механизмы для смешения.** К механизмам для смешения относятся: насосы; бассейны с перегородками; бассейны с вращающимися лопастями (для механического перемешивания); устройства для перемешивания сжатым воздухом; устройства по типу гидравлического прыжка.

Наиболее удовлетворительными считаются бассейны с механическим перемешиванием. Иногда применяются крупные резервуары, оборудованные вращающимися лопастями.

Для удаления осадка устраивается коническое дно. Скорость вращения лопастей и продолжительность перемешивания должны допускать регулирование, чтобы обеспечить гибкость в работе.

---

<sup>1</sup> См. также E. L. Bean, Water Works Eng., January, 1953, p. 33.

<sup>2</sup> См. также Water Treatment Plant Design, Am. Soc. Civil Engrs., Manual of Engineering Practice, 19, p. 19, 1941.

<sup>3</sup> См. также M. C. Smith, Water Works & Sewerage, April, 1932, p. 103



Практически продолжительность перемешивания колеблется от самого короткого времени, при перемешивании с помощью насосов, до 5—30 мин., при применении бассейнов с механическим перемешиванием. Оптимальную продолжительность следует определять экспериментальным путем. Один из видов смесителей показан на рис. 99.

**32. Перегородочные смесители.** Бассейны, в которых вода движется горизонтально, обходя перегородки, расположенные на расстоянии 0,6—0,9 м друг от друга, или вверх и вниз, проходя

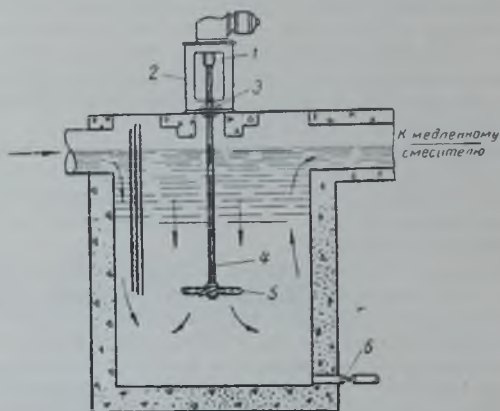


Рис. 99. Быстрый смеситель (по материалам Link—Belt Co)

1 — специальное сцепление; 2 — опора для электродвигателя;  
3 — опорный подшипник; 4 — вал передачи, вращающийся со скоростью 100—120 об/мин; 5 — пропеллерные лопасти; 6 — выпускная задвижка

под перегородками и сверху них при расположении их на расстоянии 0,6—0,9 м, известны под названием перегородчатых смесителей<sup>1</sup>. Они могут служить как для перемешивания, так и для коагуляции в зависимости от турбулентности потока. В настоящее время они применяются редко, ввиду больших преимуществ бассейнов с механическим перемешиванием.

К недостаткам бассейнов с перегородками по сравнению с бассейнами с механическими приспособлениями относятся: меньшая возможность регулирования; большая потеря напора, достигающая до 0,3—0,6 м в то время, как в механических флокуляторах она практически отсутствует и, наконец, большая стоимость устройств из-за наличия перегородок. Потеря напора в бассейнах, где вода проходит вокруг перегородок при изменении направления

<sup>1</sup> См. также Public Works, January, 1948, p. 44.

потока на  $180^\circ$ , может быть определена из выражения  $3,22 \frac{V^2}{2g}$ , где  $V$  — средняя скорость движения воды<sup>1</sup>.

**33. Бассейны со спиралеобразным или тангенциальным движением воды.** В круглых бассейнах смешение или флокуляция могут быть получены путем впуска воды тангенциально по окружности с выпуском в центре. Средняя окружная скорость в таких резервуарах при диаметре их не более 12 м составляет 0,15—0,22 м/сек при потреблении энергии, соответствующей потере напора около 0,3 м. Глубина обычно равна диаметру или больше него. Недостатками таких резервуаров являются: небольшая продолжительность циркуляции; влияние изменения скорости течения на эффект перемешивания; большие скорости на окружности и малые скорости в центре и затруднительность регулирования скорости для получения наилучших условий.

**34. Механические флокуляторы.** Механические флокуляторы вытесняют другие виды флокуляторов, потому что они обеспечивают тесный контакт между флокулирующими частицами, что важно для успешного образования хлопьев. К числу положительных качеств механических флокуляторов можно отнести: уменьшение на 10—40% количества химикалия по сравнению с бассейнами с перегородками; лучшее хлопьеобразование; возможность меньшей промывки фильтров; меньшая стоимость установки, по сравнению со стоимостью бассейнов с перегородками; гибкость работы вследствие возможности регулирования скорости вращения лопастей; возможность хорошего регулирования движения воды; относительно малая потеря напора и небольшое потребление энергии; возможность переоборудования существующих установок и значительное улучшение качества очистки при обработке активированным углем.

К недостаткам можно отнести: малую скорость движения воды у вала лопастей; наличие мертвого пространства в углах, необходимость ухода за оборудованием и небольшую продолжительность циркуляции.

Механическими флокуляторами могут быть круглые резервуары с лопастями, вращающимися на вертикальном валу, или прямоугольные резервуары с лопастями, вращающимися на горизонтальном валу. На рис. 100 показано сооружение, в котором совмещены дозатор, механический смеситель, осветлитель с горизонтальным движением. Флокулятор с коромыслом представляет собой запатентованный механизм, в котором попеременно поднимаются и опускаются перевернутые V-образные лотки, называемые «dashers». В лотках имеются регулируемые прорези, позволяющие производить перемешивание в различной степени. В круглых бассейнах применяют лопасти, вращающиеся вокруг вертикального вала. Они могут вращаться в противоположном

<sup>1</sup> См. также Water Treatment Plant Design, см. сноски на стр. 229.

друг от друга направлены или некоторые из них могут быть неподвижно закреплены для предотвращения образования завихрения. Такие флокуляторы чаще применяются в лабораториях или на небольших установках.

Механический флокулятор обычного типа представляет собой горизонтальный прямоугольный бассейн с непрерывным течением, в который вода поступает на дно, сбоку или в середине одного конца и выходит в середине другого конца.

При прохождении через бассейн вода встречает одну или несколько медленно вращающихся лопастей с валом, расположенным в плоскости движения воды.



Рис. 100. Перемешивание, флокуляция и коагулирование при горизонтальном потоке (по материалам Dorr Co)

1 — дозатор реагентов; 2 — быстрый смеситель; 3 — лопасти флокулятора; 4 — возврат осадка; 5 — выпуск осадка

В бассейне с горизонтальным движением воды вал устанавливается под прямым углом к направлению движения воды, а лопасти располагаются таким образом, чтобы наименьшее расстояние между кромками лопастей соседних флокуляторов было не больше 0,6—0,9 м. Расстояние в свету между дном и кромкой лопастей может быть равно 15 см, хотя иногда допускается и 30 см. Лопасти вращаются таким образом, чтобы верх их двигался по направлению к выпускному отверстию бассейна. Кромки лопастей должны быть ниже поверхности воды или выступать над ней примерно на 25 мм.

Общая площадь каждой лопасти в зависимости от ее типа и других условий может составлять 10—25% площади вертикального поперечного сечения бассейна. Скорость движения лопасти должна быть по возможности большой, но не настолько, чтобы происходило разрушение хлопьев. Окружная скорость колеблется от 0,3 до 0,6 м/сек. Предпочитаются более высокие скорости. Некоторые бассейны были устроены с изменяющимися скоростями, что позволило применить такую флокуляцию, при которой скорость у впускного отверстия была наибольшая, а далее она постепенно уменьшалась. На нескольких установках были предусмотрены тормозные лопасти для предотвращения излишних завихрений, вызванных каким-либо другим путем<sup>1</sup>. Рекомендуемые

<sup>1</sup> См. также Smith, сноска на стр. 229.

скорости движения воды на практике составляют 0,15—0,20 м/сек в направлении движения воды с продолжительностью пребывания воды во флокуляторе от 10 до 60 мин<sup>1</sup>. Во флокуляторах с лопастями или с воздушным перемешиванием турбулентное движение с такой скоростью поддерживается движением лопастей или воздухом. Потребление энергии для лопастей составляет 1—2 квт·ч на 1 000 м<sup>3</sup> воды, обрабатываемой за период флокуляции в 60 мин.

**35. Флокуляция при помощи воздуха.** Флокуляция может быть совершена путем подачи воздуха из уложенных в виде решетки перфорированных труб или посредством распределителя другого типа, установленного на дне бассейна, через который протекает вода<sup>2</sup>. Удовлетворительной считается глубина 2—3,6 м, при максимально возможной около 4,5 м.

Для распределения воздуха могут использоваться пористые трубки, пористые плиты или перфорированные трубы. Если применяются перфорированные трубы, то они располагаются поперек бассейна на расстоянии 0,9—1,5 м друг от друга. Диаметр отверстий составляет 1,8 мм при расстоянии 7,5—15 см между ними. Перфорированные трубы или пористые распределители следует укладывать в бетонных лотках. Расход воздуха составляет около 0,15 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площади резервуара.

Положительные стороны применения сжатого воздуха: гибкость регулирования; низкая первоначальная стоимость, простота установки и одновременная со смешением аэрация воды. Недостатки: неравномерность действия воздуха вблизи дна и вверху бассейна и возможность засорения воздухопроводов и диффузоров.

**36. Исследование хлопьев<sup>3</sup>.** Для обычного быстрого исследования хлопьев рекомендуется три метода: метод растворения краски по Насмиту<sup>4</sup>, применение детектора хлопьев Бейлиса<sup>5</sup> и метод накрывания стеклом Уилкумба<sup>6</sup>. Для контроля за флокуляцией Уилкумб предложил классификацию хлопьев, приведенную в табл. 50.

Хлопья должны быть достаточно крупными и прочными, чтобы они не проходили через поры фильтра. Прочность хлопьев может характеризоваться показателем  $\frac{h^2}{d}$ , где  $h$  — напор, необходимый для прохода хлопьев через слой песка равномерной крупности  $e$  и толщиной  $d$ . Если коэффициент неоднородности невелик,  $e$  является эффективным размером и выражается в мм,

<sup>1</sup> См. Water Treatment Plant Design, Am. Soc. Civil Engrs., Manual of Practice, 19, 1941.

<sup>2</sup> См. также G. E. Willcomb, J.A.W.W.A., 1932, p. 1416.

<sup>3</sup> См. также H. E. Hudson, Jr., там же, vol. 40, 1948, p. 868.

<sup>4</sup> G. G. Nasmith, там же, vol. 22, 1930, p. 396.

<sup>5</sup> J. R. Baylis, там же, vol. 11, 1924, p. 824.

<sup>6</sup> См. также G. E. Willcomb, U.A.W.W.A., 1932, p. 1416.

Классификация хлопьев по Уилкумбу\*

Номер по классификации	Характер хлопьев	Вид и состояние хлопьев
0	Коллоидные	Нет абсолютно никаких признаков скопления
2	Слабые	Настолько мелкие, что не различаются обычным наблюдателем
4	Различные	Хорошо выраженные, но неравномерно распределенные
6	Определенные	Крупные и подготовленные к оседанию
8	Отличные	Хорошо оседают но не полностью
10	Полные	Практически все хлопья осели; находящаяся над ними жидкость чистая

\* См. J. A. W. W. A., vol. 24. 1916, p. 1416,

а другие размеры в футах. Показатель, равный 1 или менее, означает слабые хлопья, а 5 — вполне удовлетворительные.

**37. Коагуляционные бассейны.** Коагуляционный бассейн рассчитывается на продолжительность пребывания в нем воды в течение времени, достаточного для оседания определенного количества хлопьев, при котором лишь небольшое количество хлопьев остается и поступает на фильтр. Горизонтальная скорость течения в коагуляционном бассейне должна быть как можно меньше и не превышать 15 мм/сек, а предпочтительно 5 мм/сек. Бассейн следует рассчитывать таким образом, чтобы было исключено турбулентное движение воды и обеспечена равномерная горизонтальная скорость по всему бассейну. Продолжительность пребывания колеблется в очень широких пределах, но обычно она бывает от 2 до 6 час. Чаще принимают меньшую продолжительность. Принципы расчета — такие же, как и для бассейнов простого отстаивания.

Коагуляционные бассейны могут быть оборудованы непрерывно работающими скребками для удаления осевших хлопьев (см. главу XI, п. 16). Коагуляционные бассейны, иногда известные под названием осветлителей, считаются производительными, экономичными и эффективными, благодаря непрерывному удалению осадка, возможности его рециркуляции и предотвращению его гниения.

**38. Коагулирование с поверхностным слоем осадка<sup>1</sup>.** Осветлитель с поверхностным слоем осадка, известный также под назва-

<sup>1</sup> См. также F. D. Prager, Water & Sewage Works, April, 1950, p. 143



нием суспензионного сепаратора<sup>1</sup>, обычно состоит из круглого резервуара с вертикальным движением воды, в который вода поступает по вертикальной трубе, расположенной в центре резервуара, причем замедленные скорости в расширяющейся трубе способствуют лучшему образованию хлопьев.

В низу вертикальной трубы движение воды меняется на восходящее (вокруг вертикальной трубы) с такой скоростью, при

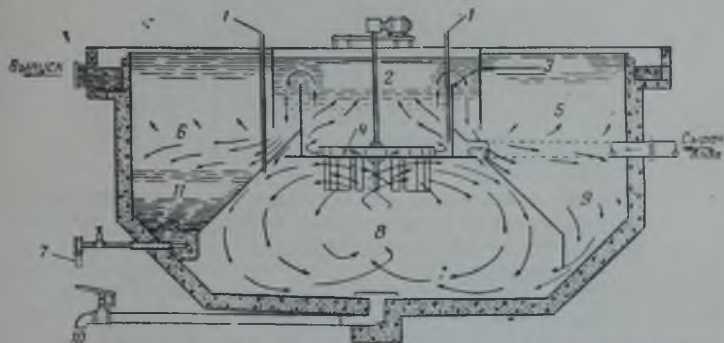


Рис. 101. Акселератор, объединяющий смешение, хлопьеобразование и осветление (по материалам Infilco)

1 — реагент; 2 — вторичное смешение и зона реакций; 3 — выпускные трубки; 4 — лопасти мешалки; 5 — осветленная вода у поверхности; 6 — осветленная вода; 7 — выпуск осадка; 8 — первичное смешение и зона реакций; 9 — зона обратного потока; 10 — выпуск и пропуск; 11 — уплотнитель

которой образуется слой взвешенных хлопьев, называемый поверхностным слоем осадка. Этот слой действует как фильтр, удерживающий взвешенные частицы. Граница поверхностного слоя осадка обычно бывает резко выражена, вода над ним светлая и относительно чистая, без взвешенных частиц. Местоположение и характер поверхностного слоя осадка регулируются оператором в допускаемых пределах.

Тяжелые крупные частицы оседают на коническом дне резервуара, откуда они удаляются под гидростатическим давлением непрерывно или периодически без перерыва работы бассейна. Чистая вода удаляется с поверхности. Восходящую скорость принимают около 0,25—0,3 фут/мин (1,3—1,5 м/сек). Один из фирменных осветлителей, имеющих в продаже, показан на рис. 101.

<sup>1</sup> См. также J. A. W. W. A., April, 1951, p. 263.

## Глава XIII

### МЕДЛЕННОЕ И СКОРОЕ ФИЛЬТРОВАНИЕ

**1. Фильтруемость воды.** Способность воды фильтроваться или ее фильтруемость количественно характеризуется объемом воды, профильтрованной через единицу площади стандартного фильтра со стандартной скоростью фильтрования при возрастании потери напора на единицу<sup>1</sup>. Этот объем называют иногда показателем фильтруемости. Знание величины показателя фильтруемости необходимо при обработке сырой воды до фильтрования, так как чем выше показатель, тем меньше период между промывками фильтра. Наблюдения за показателем фильтруемости ведутся также при регулировании различных механизмов на обрабатываемой установке.

#### А. Медленное фильтрование

**2. Медленный песчаный фильтр.** Медленный песчаный фильтр представляет собой резервуар, содержащий слой песка толщиной 0,9—1,5 м, лежащего на слое гравия толщиной 0,15—0,3 м (рис. 102). Под слоем гравия находится система дренажных труб, уложенных с зазорами между стыками и расположенных на расстоянии 3—6 м между осями. По дренажным трубам вода поступает к выпуску, где установлен регулятор скорости фильтрования.

Крупность песка должна быть около 0,35 мм, коэффициент неоднородности — около 1,75.

При работе фильтр наполняют водой на глубину 0,9—1,5 м выше поверхности песка, как показано на рис. 102. Вода проходит через слой песка со скоростью от 2,5 до 7,5 млн. галл. на акр в день (0,1—0,3 м/час); на большинстве установок скорость фильтрования составляет около 3 млн. галл. на акр в день<sup>2</sup>

<sup>1</sup> См. также P. L. Boucher, J. Inst. Civil Engrs., February, 1947, p. 417; H. E. Babbitt and E. R. Baumann, Univ. Illinois Eng. Expt. Sta. Bull. 425, 1954.

<sup>2</sup> См. также P. Karalekas, Am. City, September, 1952, p. 99.

(0,12 м/час). Эта скорость сохраняется до тех пор, пока разница между уровнями воды на фильтре и в выпускной камере, т. е. потеря напора в фильтре, не станет несколько меньше глубины воды над песком.

Когда потеря напора достигает этого предела, фильтр выключают из работы, а из фильтра<sup>1</sup> или удаляют совсем слой песка

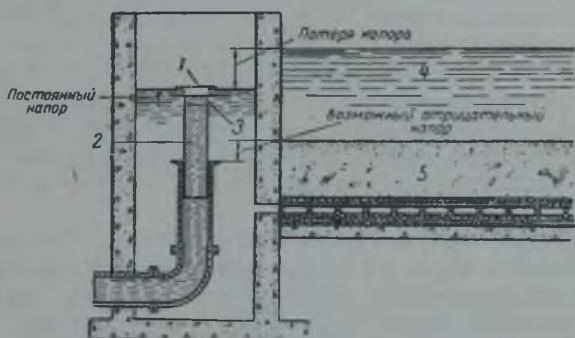


Рис. 102. Схема появления отрицательного напора в медленном песчаном фильтре

1 — поплавок; 2 — телескопическая труба; 3 — кольцевой водослив; 4 — вода; 5 — песок

толщиной 25 мм, или заменяют этот слой чистым песком, после чего снова пускают фильтр в работу<sup>2</sup>. Потеря напора обычно достигает 15 см. Обычно очистку производят через каждые 2—3 месяца или чаще.

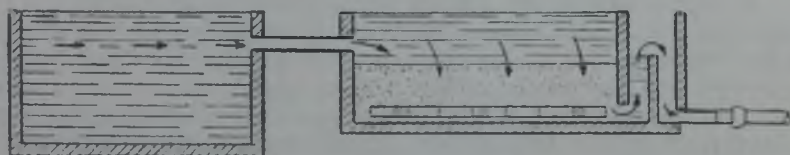


Рис. 103. Схема прохождения воды в медленном песчаном фильтре

**3. Установка для медленного фильтрования.** Установка для медленного фильтрования (рис. 103) может включать все или некоторые из перечисленных ниже частей:

- 1) грубую решетку и насосы низкого подъема;
- 2) водообрабатывающие механизмы, такие как микрофильтры [56], грубые фильтры и бассейны для простого отстаивания (коагулянты могут не применяться);

<sup>1</sup> См. также Е. L. Mosley, Public Works, February, 1953, p. 116.

<sup>2</sup> См. также А. J. Minkus, J. New Engl. Water Works Assoc., September, 1948, p. 242.

3) медленный песчаный фильтр;

4) резервуар чистой воды или регулирующий резервуар.

Важной частью установки медленного фильтрования является здание, где расположена административная часть и управление и где могут быть также размещены насосы низкого подъема, склад песка и оборудование для его промывки.

Для подготовки воды к медленному фильтрованию могут быть применены грубые песчаные фильтры с крупным песком по типу скорых фильтров, работающие со скоростью фильтрования большей, чем стандартные скорые песчаные фильтры, но без применения коагулирования. При наличии грубых фильтров на медленном фильтре можно допускать большую скорость фильтрования и увеличить продолжительность работы фильтра между очистками.

**4. Регулирование скорости фильтрования.** Постоянный уровень поверхности воды на медленном песчаном фильтре можно поддерживать с помощью поплавкового клапана, путем регулирования насосами низкого давления или другими способами. Скорость фильтрования регулируется при помощи регулятора скорости фильтрования, установленного на выпускной трубе. Регулятор скорости фильтрования «открытого типа» показан слева на рис. 102 и на рис. 122. Вертикальная выдвижная труба (рис. 102) подвешена к цилиндрическому кольцу, которое плавает на поверхности воды таким образом, что затопленный открытый конец трубы находится на определенном расстоянии от поверхности воды. Расход воды, поступающий через выпускную трубу, постоянен, так как поступление воды в трубу происходит под постоянным напором.

**5. Промывка песка.** Когда необходимо промыть фильтр, его выключают из работы, освобождают от воды, удаляют с поверхности фильтра слой песка толщиной 25 мм и подают его гидравлическим или другим способом в центральное место, где промывают его чистой водой и сохраняют для нового использования на фильтре. Имеются механизмы, позволяющие производить промывку песка на месте без освобождения фильтра от воды. К ним относятся промывочные машины Блейсделл<sup>1</sup> и Свейд Селектер<sup>2</sup>; такая промывка возможна также по способу Свейда<sup>3</sup>.

**6. Эффект медленного фильтрования через песок.** Главной целью медленного фильтрования является удаление из воды бактерий. В этом отношении медленные фильтры весьма эффективны и надежны и, если они не перегружены, удаляют 98—99% бактерий из сырой воды. Они задерживают также взвешенные вещества, не задержанные в отстойном бассейне; кроме того, они способствуют устранению запахов и привкусов, особенно вызванных присутствием морских водорослей и взвешенных веществ. При благо-

<sup>1</sup> Eng. Contr., Aug. 26, 1914, p. 210.

<sup>2</sup> M. N. Baker, Eng. News-Record, Sept. 19, 1946, p. 100.

<sup>3</sup> Water and Water Eng., July, 1949, p. 351.

приятных условиях медленные фильтры оказывают некоторое влияние на удаление цветности, но не особенно эффективны в отношении удаления коллоидных веществ.

Удаление 98—99% бактерий все же недостаточно и не исключает возможности прохода через фильтр патогенных бактерий. Поэтому необходима последующая дезинфекция воды.

## Б. Скорое фильтрование

**7. Скорый песчаный фильтр самотечного типа.** Скорый фильтр открытого, самотечного типа представляет собой открытый резервуар, содержащий слой песка толщиной 750—900 мм,

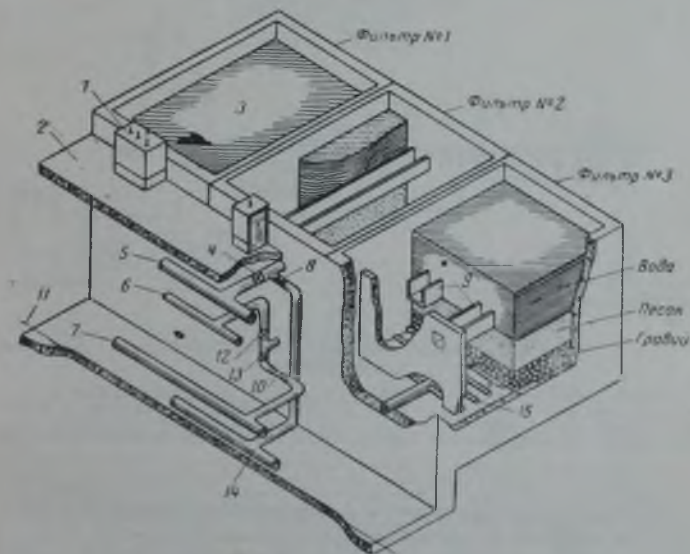


Рис. 104. Схема скорого песчаного фильтра

1 — стол управления; 2 — пол рабочей галереи; 3 — поверхность воды; 4 — впускная задвижка; 5 — впускной трубопровод; 6 — трубопровод промывной воды; 7 — трубопровод фильтрованной воды; 8 — задвижка на сточном трубопроводе; 9 — промывные желоба; 10 — регулятор скорости фильтрования; 11 — ось пола галереи трубопроводов; 12 — задвижка промывной воды; 13 — задвижка на выпускном трубопроводе; 14 — сточный или выпускной трубопровод; 15 — дырчатые дренажные трубы

лежащий на слое гравия толщиной 150—300 мм (рис. 104). Такие фильтры обычно сооружаются из железобетона, хотя небольшие фильтры могут быть построены из стали. Под гравием расположена дренажная система; на выпускном трубопроводе устанавливается регулятор скорости фильтрования. Поверхность воды в фильтре в процессе фильтрования на 0,9—1,5 м выше уровня



промывных желобов. При промывке уровень воды понижают почти до поверхности песка. При обратной промывке объем «расширившегося» песка составляет около 150% его объема при обычном фильтровании.

**8. Очистная установка со скорыми песчаными фильтрами самотечного типа.** На рис. 105 показана схема установки скорых песчаных фильтров самотечного типа. Общий план установки дан на рис. 106.

Следует отметить, что химическое коагулирование является существенной частью работы полной установки скорого фильтрования.

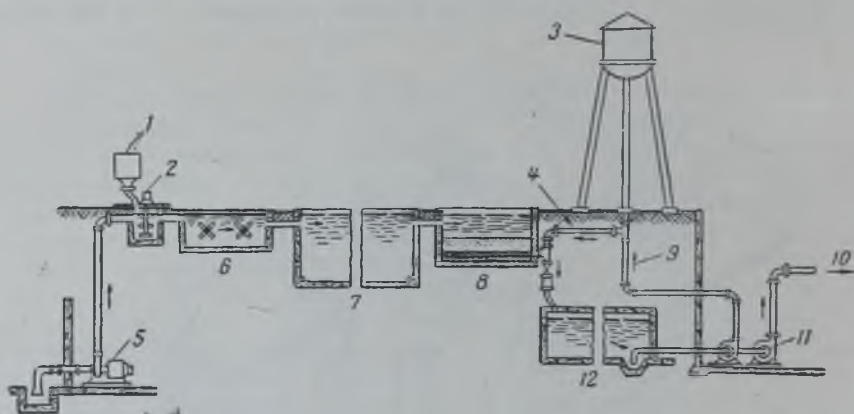


Рис. 105. Схема прохождения воды в установке со скорыми песчаными фильтрами

1 — подача сухого реагента; 2 — быстрый смеситель; 3 — резервуар промывной воды; 4 — промывная вода на фильтры; 5 — насос низкого давления; 6 — флокулятор на 30 мин.; 7 — коагуляционный бассейн на 2—4 часа; 8 — фильтр; 9 — в резервуар промывной воды; 10 — в распределительную сеть; 11 — насос высокого давления; 12 — резервуар чистой воды

**9. Сравнение медленного и скорого фильтрования.** Для обслуживания медленного песчаного фильтра не требуется специального квалифицированного персонала. Для фильтрования требуется меньший напор воды. Некоторые предпочитают медленные песчаные фильтры из-за большей их эффективности в отношении удаления бактерий. Эксплуатационные расходы при медленном фильтровании на единицу объема обрабатываемой воды могут быть меньше, чем при скором фильтровании. Медленные фильтры удобно применять при слабо цветной воде с небольшой мутностью и небольшим содержанием бактерий.

К числу преимуществ скорых песчаных фильтров по сравнению с медленными фильтрами следует отнести меньшую первоначальную стоимость, меньшую требуемую площадь земли. Очищенная вода получается более прозрачной и менее окрашенной. Для скорых фильтров требуется меньшее количество песка;

при очистке фильтр выключается из работы только на несколько минут. Процесс очистки можно быстро регулировать в соответствии с изменениями качества сырой воды.

Медленные песчаные фильтры — это первый вид фильтра для очистки воды, созданный в 1829 г. Первый скорый песчаный фильтр был построен в Сомервилле, штат Нью-Йорк, в 1884 г.

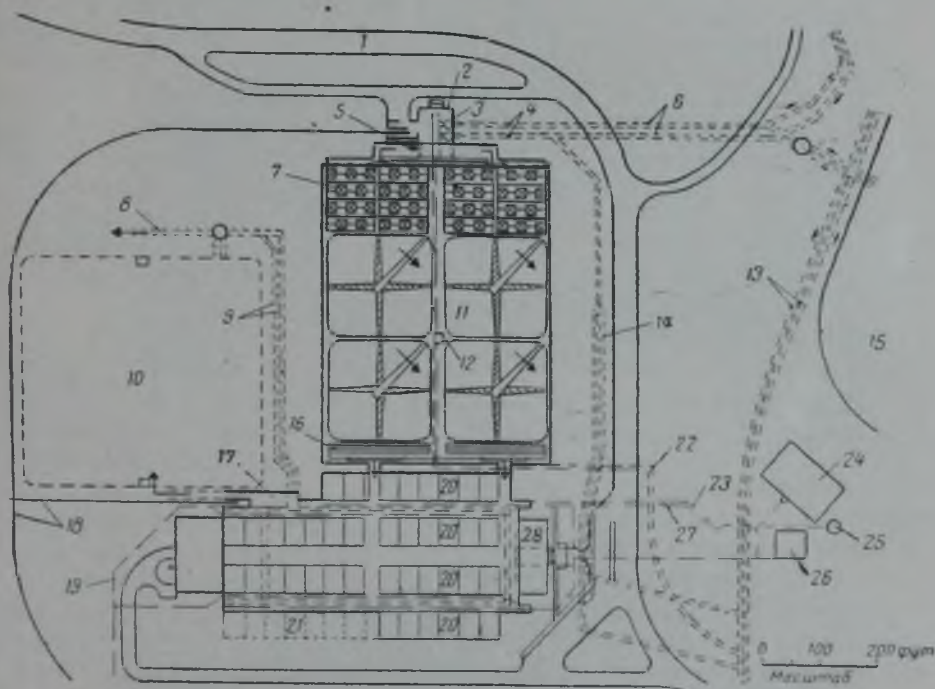


Рис. 106. План большой очистной станции (взято из The Sanitary Industry)

1 — шоссе; 2 — склад реагентов; 3 — водяные турбины; 4 — водомеры Вентури; 5 — подача реагентов; 6 — трубопроводы отстойной воды диаметром 1 500 мм; 7 — флокуляторы; 8 — самотечный тоннель диаметром 2 200 мм к главной насосной станции; 9 — обводный трубопровод фильтрованной воды диаметром 1 500 мм; 10 — закрытый резервуар чистой воды емкостью 82 500 м<sup>3</sup>; 11 — осветлители; 12 — помещение для илового насоса; 13 — трубопроводы диаметром 1 500 мм для подачи сырой воды из реки насосной станцией; 14 — обводный трубопровод сырой воды диаметром 1 500 мм; 15 — отстойный резервуар; 16 — карбонизация; 17 — склад хлора и аммиака; 18 — тупиковые пути; 19 — сточная промывная вода; 20 — фильтры; 21 — семь будущих фильтров; 22 — первичная подача сернистого алюминия; 23 — трубопровод хозяйственной воды диаметром 200 мм; 24 — резервуар промывной воды № 2; 25 — водонапорный резервуар; 26 — резервуар промывной воды № 1; 27 — промывная вода к фильтрам; 28 — служебные помещения и лаборатория

С этого времени строительство скорых песчаных фильтров в США почти вытеснило строительство медленных песчаных фильтров [57]. В других странах число скорых песчаных фильтров по отношению к медленным песчаным фильтрам также быстро увеличивается.

Очистная станция с медленными песчаными фильтрами была сооружена в Лайсестере, штат Массачусетс, в 1946 г<sup>1</sup>. Фирма

<sup>1</sup> См. Water Works Eng., Sept. 4, 1946, p. 1056.

Metropolitan Water Board в Англии и в настоящее время продолжает сооружать медленные песчаные фильтры<sup>1</sup>.

Краткое описание проектных и эксплуатационных данных по 56 установкам скорого фильтрования в США и Канаде дано Хардингом<sup>2</sup>.

**10. Пропускная способность установки.** Пропускная способность установки скорого фильтрования зависит от средней величины водопотребления, колебания водопотребления и емкости резервуара чистой воды. Она может соответствовать максимальному (пиковому) водопотреблению, если не предусмотрен резервуар чистой воды, или среднему водопотреблению, если емкость резервуара чистой воды достаточна для регулирования колебаний водопотребления. Экономичная пропускная способность фильтров и емкость резервуара чистой воды находятся между этими двумя крайними пределами. Экономичная пропускная способность может быть определена только путем сравнения ряда вариантов с различной пропускной способностью.

В разных городах отношение пропускной способности установки к среднему количеству воды, подаваемой насосами, различно. Это отношение обычно больше 2 и иногда достигает 3,2. В больших городах, как правило, оно меньше, чем в небольших городах. На очень небольших установках может оказаться экономичным использовать установку только в течение нескольких часов в сутки, за счет увеличения пропускной способности фильтрующей установки и увеличения емкости резервуара чистой воды.

**11. Здание фильтров.** Здание фильтров должно иметь приятный внешний вид и должно быть окружено растительностью. На рис. 107 показано здание фильтра в Седар Рэпидс, штате Айова. На рис. 108 показан внутренний вид здания фильтров в Дес Мойнес, штат Айова.

Станция построена с расчетом обеспечения удобств для работы оператора; каждая комната хорошо освещена. Под помещением для хранения реагентов отведена большая площадь, сухая и хорошо вентилируемая. Для внутренней отделки желателен белый цвет.

Если позволяют местные условия, предпочтителен Т-образный план здания фильтров. В передней части, в 2—3 этажах располагают лабораторию, помещения для администрации, хранения и приготовления реагентов и, если необходимо, насосное помещение. Удлиненная часть — одно- или двухэтажная, где находится галерея трубопроводов, рабочий этаж и фильтры. Эта часть здания не всегда должна иметь полную высоту по всей длине фильтра.

Необходимо лишь, чтобы оператор, стоящий на полу рабочей галереи, мог видеть всю поверхность воды и часть стены в задней

<sup>1</sup> См. „Manual of British Water Supply Practice“, 1950, p. 349.

<sup>2</sup> E. A. Hardin, J. A. W. W. A., December, 1942, p. 1847.



Рис. 107. Фильтровальная станция Бломквист в Седар Рэпидс, шт. Айова (по материалам Leo Louis Superintendent)



Рис. 108. Рабочий зал фильтровальной установки Дес Мойнес, шт. Айова (по материалам Dale L. Maffitt and V. R. Kreier)



части фильтра. Такая конструкция представлена на рис. 109, где изображен поперечный разрез установки в Меридене, штат Коннектикут. Можно уменьшить стоимость станции, если вынести некоторые части фильтра за пределы здания. Части фильтров, расположенные снаружи здания, должны быть покрыты плоской бетонной плитой, которая защищает фильтры от загрязнения, а также является местом временного хранения песка, удаленного из фильтра. В странах с тропическим климатом наружные стены иногда вовсе не устраивают.

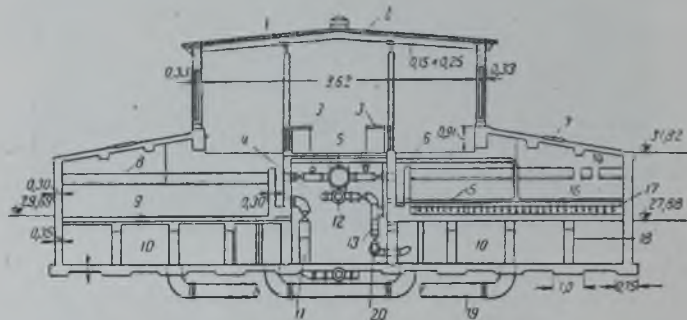


Рис. 109. Разрез фильтровальной установки со скорыми песчаными фильтрами в Меридене, шт. Коннектикут (из Water Works, January, 1927, p. 508)

1 — двутавровая балка № 25; 2 — пятислойное гравийное покрытие; 3 — столы управления; 4 — галерея трубопроводов; 5 — трубопровод сырой воды диаметром 600 мм; 6 — воздухопровод диаметром 75 мм; 7 — стеклянный люк; 8 — промывной желоб; 9 — фильтр 12,2×12,2 м; 10 — резервуар чистой воды емкостью 110 м<sup>3</sup>; 11 — выпуск промывной воды; 12 — промывная вода; 13 — повторная промывка; 14 — балки 0,30×0,35 м; 15 — воздушная система; 16 — фильтр; 17 — коллектор; 18 — колонны 0,30×0,30 м; 19 — к резервуару чистой воды; 20 — выпуск

Необходимо устраивать хорошее освещение над фильтрами. Конденсация на внутренней поверхности стен здания фильтра может быть уменьшена путем предотвращения движения воздуха над поверхностью фильтров и путем устройства изоляции на покрытии. Стоимость изоляции компенсируется экономией топлива. Отопительные агрегаты на фильтрующих установках способствуют появлению конденсации, и поэтому их следует избегать. Образование конденсата на холодных трубах, особенно уложенных в галерее трубопроводов, можно предотвратить путем кондиционирования воздуха с целью удаления влаги или путем изоляции труб.

Очень эффективна и приятна на глаз пробковая изоляция, покрытая алюминиевой краской<sup>1</sup>.

Здания фильтров требуют больше тепла, чем большинство других зданий из-за больших теплотерь через наружные стены

<sup>1</sup> См. также „Water Supply and Treatment“, p. 56, National Lime Association, Washington, D. C. 1951.



и крышу и вследствие поглощения тепла обрабатываемой водой. Важно, чтобы температура поддерживалась выше точки замерзания особенно вокруг труб небольшого диаметра гидравлической системы управления. В лаборатории, помещениях для административного персонала и для оператора следует поддерживать нормальную температуру, необходимую для работы персонала.

Склад реагентов, лаборатория, механизмы для подачи и другое оборудование реагентного хозяйства должны располагаться сосредоточенно в одном месте внутри здания фильтров для удоб-

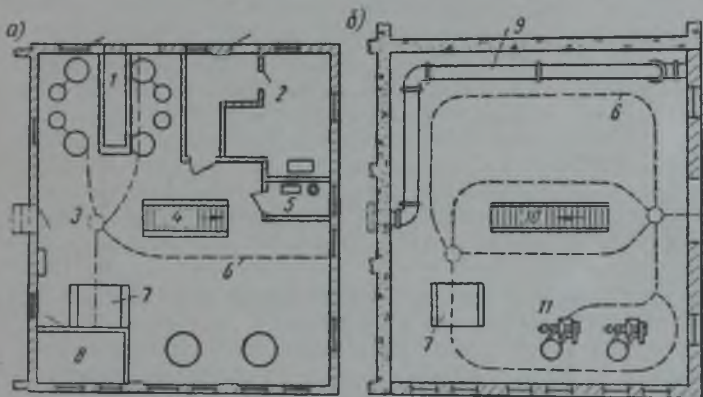


Рис. 110. Планы этажей реагентного хозяйства в Дефайансе, шт. Огайо (из J. A. W. W. A., vol 7, p. 445)

*a* — операционное помещение, *б* — склад реагентов; 1 — механизмы для сухого дозирования; 2 — лаборатория; 3 — поворотный круг; 4 — лестница вниз; 5 — уборная; 6 — путь тележки тельфера; 7 — подъемник; 8 — хлорные аппараты; 9 — промывная вода; 10 — лестница вверх; 11 — аппараты для превращения реагента в порошок

ства эксплуатации. На рис. 110 показаны планы помещения для реагентов в Дефайансе, штат Огайо, которые отвечают этим требованиям.

Чтобы посетители могли видеть, насколько прозрачной является очищенная вода, желательно устроить «смотровой» колодец, облицованный глазурованными белыми плитками с вертикальной освещенной шкалой.

Если возможно, то сырую и очищенную воду следует пропускать через смежные колодцы, чтобы подчеркнуть разницу между ними.

**12. Лаборатория.** Если имеются другие муниципальные предприятия, требующие лабораторного контроля, то в небольших городах может быть желательным обслуживание всех этих предприятий одной лабораторией. В больших городах такое объединение обычно нецелесообразно<sup>1</sup>. При проектировании лаборатории следует учитывать следующие условия:

<sup>1</sup> См. Water Works Eng., April, 1950, p. 305.

- 1) наиболее удобное ее местоположение;
- 2) производительность станции, количество персонала и оборудования;
- 3) наличие холодной и горячей воды, сжатого воздуха, разреженного воздуха (вакуума), осветительного газа, электричества;
- 4) наличие других видов специального обслуживания.

Вообще, желательно располагать лабораторию вблизи к главному операционному помещению или совместно с ним. В то же время необходимо, чтобы операционный зал в здании фильтра был хорошо виден из лаборатории.

Желательно, чтобы окна были обращены на северную сторону. Площадь окон должна составлять 25% от площади пола, причем окна должны доходить почти до потолка при высоте помещения 3,6 м. Прямой солнечный свет в помещении нежелателен. Искусственное освещение должно обеспечивать освещенность рабочих поверхностей в 400 лк, причем свет должен быть белый. Отопление и вентиляция должны обеспечить нормальную температуру при шестикратном часовом воздухообмене. Для удаления химических паров следует предусмотреть специальные вентиляционные колпаки.

Площадь пола небольшой лаборатории должна быть не менее 28 м<sup>2</sup>, лаборатории среднего размера не менее 92 м<sup>2</sup>. Если в лаборатории выполняются химические, бактериологические, биологические и другие исследования, то площадь должна быть больше.

Оборудование лаборатории зависит от характера и объема работ. Описание устройства лаборатории можно найти в периодической литературе<sup>1</sup>.

**13. Фильтр.** На рис. 104 показан скорый песчаный фильтр в аксонометрии. К числу важных факторов, которые учитываются при проектировании, относятся:

- 1) пропускная способность фильтра;
- 2) длина и ширина фильтра;
- 3) расположение и размеры желобов для промывочной воды;
- 4) фильтрующий материал;
- 5) система дренажа;
- 6) глубина резервуара фильтра.

**14. Скорость фильтрования.** Стандартная скорость фильтрования через скорый песчаный фильтр, которая одобрена как результат практического опыта, составляет 2 галл. на 1 фут<sup>2</sup> поверхности фильтра в 1 мин. (4,9 м/час). Это соответствует 125 млн. галл. в сутки на 1 акр (так было принято ранее выражать производительность фильтров). На практике стремятся увеличивать скорости фильтрования с более тщательной обработкой воды до

---

<sup>1</sup> См. J. A. W. W. A., September, 1951, p. 725; February, 1953, p. 129; Water Works Eng., May, 1946, p. 482; August 21, 1946, p. 968; Am. City, December, 1951, p. 135.

фильтрования и с использованием более крупного песка<sup>1</sup>. Наиболее высокие скорости фильтрования применяют в Чикаго, где они достигают 11,5 м/час. Применение таких скоростей стало возможным благодаря особой предварительной обработке воды и использованию особого фильтрующего песка. Такие скорости не следует применять без проверки соответствия гидравлических условий установки предварительной обработки воды.

**15. Пропускная способность фильтра.** Скорые песчаные фильтры открытого самотечного типа могут сооружаться любой пропускной способностью, но обычно их сооружают с пропускной способностью, выраженной целым числом миллионов галл/день

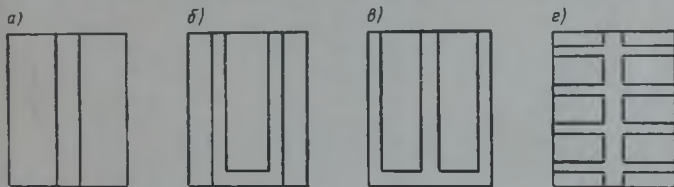


Рис. 111. Расположение промывных желобов в скорых песчаных фильтрах

или частями его для того, чтобы можно было использовать оборудование стандартных размеров. Однако максимально пропускную способность одного фильтра принимают в 5 млн. галл/день (18 900 м<sup>3</sup>/сутки).

Обычно требуется иметь два или более фильтра для того, чтобы при выходе из строя одного из фильтров остальные могли работать без серьезной перегрузки. Чем меньше, число фильтров, тем проще их оборудование, но сложнее оборудование для промывки водой.

**16. Длина и ширина фильтра.** Обычно длину прямоугольных резервуаров фильтров принимают больше ширины в целях экономного использования площади и более компактного расположения трубопроводов.

По практическим данным при размещении фильтров по обе стороны галерей трубопроводов, отношение длины к ширине резервуара фильтра колеблется от 1,11 до 1,66 и составляет в среднем 1,25—1,33.

**17. Желоба для промывной воды.** Промывные желоба могут быть бетонные, из ковкого чугуна или стали, чугунные, алюминиевые, из монель-металла и редко деревянные.

Различные схемы расположения промывных желобов показаны на рис. 111. Как установлено практикой, горизонтальное

<sup>1</sup> См. J. R. Baylis, J. A. W. W. A., July, 1950, p. 687; Pure Water, May, 1950, p. 90.

перемещение загрязненной воды по пути ее к желобу по поверхности фильтра должно быть менее 0,9 м. Поэтому расстояние от края до края желобов, не должно превышать 1,8 м и предпочтительно должно быть меньше 1,4 м.

На рис. 111, а дано расположение желоба для небольших фильтров, шириной не более 1,8 м.

На рис. 111, б изображено расположение желобов, удобное для несколько больших фильтров. На рис. 111, в показано видоизмененное расположение желобов, при котором некоторые из них примыкают к боковым стенам фильтра. Такое расположение считается неудачным ввиду невозможности использования одной стороны желоба для сбора промывной воды. На рис. 111, г пока-

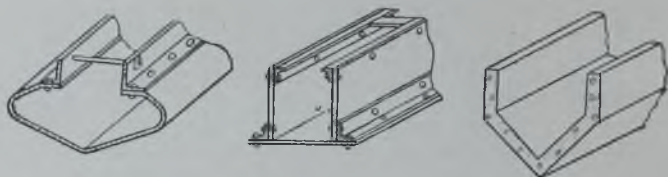


Рис. 112. Промывные желоба

зано удобное расположение желобов, применяемое на больших фильтрах. Центральный желоб, идущий в центре, занимает всю глубину фильтра и разделяет его на две почти самостоятельные части. Поперечные желоба соединены с этим глубоким центральным желобом.

Верхний край промывного желоба должен находиться достаточно близко к поверхности песка, чтобы большое количество загрязненной воды не оставалось в фильтре после окончания промывки. В то же время край промывного желоба должен находиться несколько выше поверхности расширившегося при промывке песка, чтобы песок не был смыт в желоб. Если эта высота не может быть определена испытанием, края желоба располагают на столько выше поверхности непо потревоженного песка, на сколько промывная вода поднимается за 1 мин. При такой высоте расположения желоба не следует применять одновременно для очистки фильтра воду и воздух. Желоб должен быть достаточных размеров для удаления всей воды, притекающей к нему, при расстоянии между уровнем протекающей в нем воды и верхом желоба в 7,5 см. В противном случае вода затопляет желоб, уменьшая эффективность промывки. Желоб может иметь одинаковое поперечное сечение по всей длине или увеличивающееся в направлении к выпускному концу. Дно желоба должно находиться ниже поверхности расширившегося песка на 5 см или более. Не всегда экономично устраивать желоба с одинаковым поперечным сечением. Экономия может быть получена, если при

наклонном дне желоба передняя его часть будет глубже задней части.

Разрезы промывных желобов изображены на рис. 104 и 112. Для определения размеров промывных желобов применяют

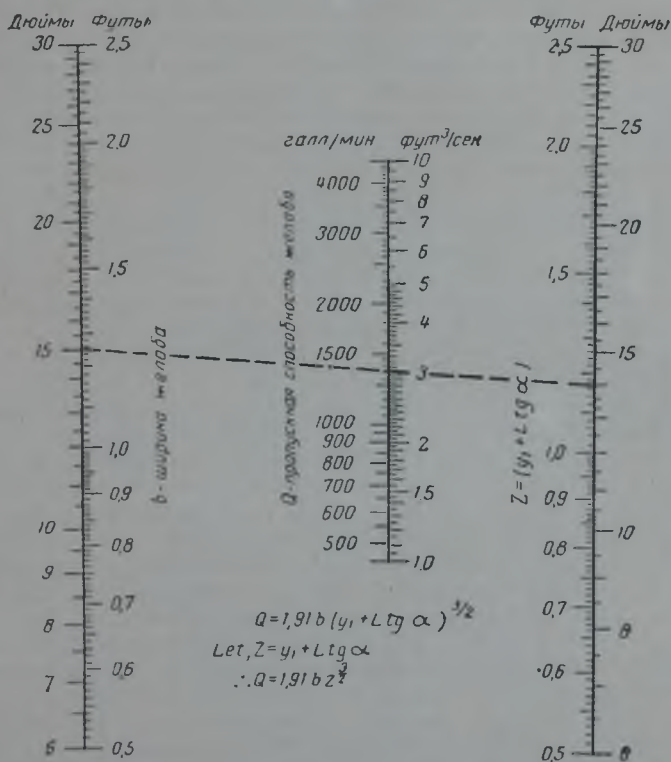


Рис. 113. Номограмма для расчета промывных желобов

ся различные способы. Удовлетворительные результаты получаются при пользовании номограммой, показанной на рис. 113. Другой способ предложен Стейном<sup>1</sup>.

При пользовании номограммой для расчета промывного желоба необходимо знать требуемую пропускную способность и ширину желоба. Если сечение желоба не прямоугольное, то следует определить размеры прямоугольного желоба с такой же площадью поперечного сечения и после этого придать желобу желательную форму. Сначала определяют величину по заданной пропускной способности желоба —  $Q$  и ширине желоба —  $b$ . Далее определяют глубину воды  $y_1$ ,  $y$  верхнего конца по уравнению

$$y_1 = z - Ls,$$

<sup>1</sup> М. F. Stein, J. A. W. W. A., vol. 13, 1925, p. 411.



где  $L$  — длина желоба;  
 $s$  — уклон его дна.

Тогда глубина воды  $y_2$  в нижнем конце будет

$$y_2 = \frac{2}{3}(y_1 + Ls).$$

**18. Качество фильтрующих материалов.** В качестве фильтрующего материала широко применяется песок из-за относительно низкой его стоимости и большого опыта применения. К другим применяемым материалам относятся дробленый антрацит<sup>1</sup>, стекло и запатентованные продукты. Технические условия на фильтрующие материалы опубликованы Американской водопроводной ассоциацией<sup>2</sup>.

Удовлетворительные результаты дают некоторые заменители, проверенные испытанием и практикой<sup>3</sup>. К числу преимуществ антрацита по сравнению с песком можно отнести<sup>4</sup> большую продолжительность рабочего цикла фильтров, меньший расход промывной воды и более чистый фильтрующий слой<sup>5</sup>. Преимущество угля по сравнению с песком, возможно, обусловлено большим удельным весом и большей пористостью.

**19. Крупность и глубина слоя фильтрующего материала.** Фильтрующий песок должен обычно быть такой крупности, что бы в нем удерживалось большое количество хлопьев и чтобы промывка не была затруднительной; при промывке песок должен очищаться от прилипших частиц при такой скорости промывной воды, при которой не было бы выноса песчинок. Некоторые из этих требований взаимно противоречивы. Например, мелкий песок лучше задерживает хлопья и дает хорошее качество профильтрованной воды, но зато уменьшает продолжительность рабочего цикла фильтра и затрудняет промывку. При крупном песке все происходит наоборот. Слой мелкозернистого песка расширяется при промывке больше, чем слой крупнозернистого песка при такой же интенсивности промывки. Если между зернами более широкие промежутки, то тенденция их ударяться друг о друга уменьшается и трудность очистки увеличивается. С другой стороны, чем больше зерна песка, тем больше сила, с которой они ударяются друг о друга и тем легче содержать слой чистым. При более крупном песке фильтры могут работать дольше между промывками, а количество и величина грязевых комьев уменьшается и не надо так часто удалять и очищать песок. На прак-

<sup>1</sup> См. также J. A. Oldenburg, Public Works, May, 1950, p. 50.

<sup>2</sup> См. J. A. W. W. A., March, 1949, p. 289 с библиографией.

<sup>3</sup> См. также J. R. Baylis, Water Works & Sewerage, October, 1934, p. 352.

<sup>4</sup> См. также E. L. Streatfield, Water and Water Eng., December, 1946, p. 662; Turner and Scott, Water Works & Sewerage, April, 1933, p. 135; September, 1933, p. 330; C. P. Hoover, там же, November, 1933, p. 394; O. J. Ripple, там же, vol 83, 1936, p. 255; H. G. Turner, J. A. W. W. A., April, 1944, p. 431; R. Mounsey, Am. City, May, 1953, p. 83.

<sup>5</sup> См. также H. G. Turner, Water & Sewage Works, vol 96, 1949, p. R-57.

тике имеется тенденция к применению крупного песка для получения больших скоростей фильтрования. Однако при слишком крупном песке уменьшается эффективность удаления бактерий. Фильтрующие слои из крупного песка должны иметь большую толщину, чем из мелкого песка, и скорость подъема промывной воды должна быть большей для получения одинакового эффекта промывки фильтра.

Эффективная величина зерен используемого обычно песка (по Хейзену) составляет 0,4—0,55 мм при коэффициенте неоднородности

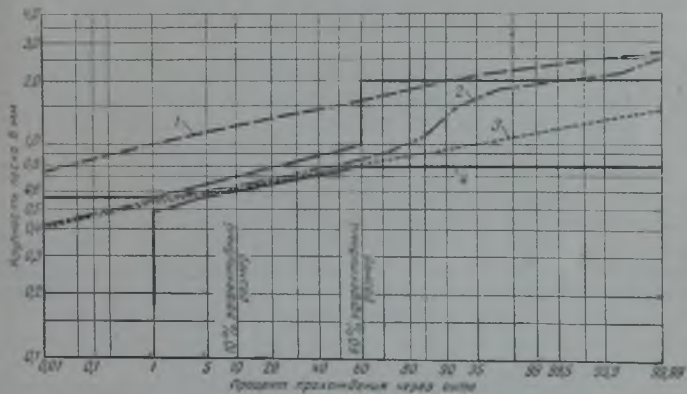


Рис. 114. График, иллюстрирующий чикагские технические условия на скорые песчаные фильтры и типовое распределение песка по крупности

1 — крупный песок; 2 — смесь крупного и мелкого песка; 3 — мелкий песок; 4 — предел, установленный техническими условиями

родности 1,35—1,75<sup>1</sup>. На практике эффективный размер колеблется от 0,3 до 0,6 мм. Успешное применение значительно увеличенных скоростей фильтрования в Чикаго<sup>2</sup>, о чем указывалось в п. 14 настоящей главы, частично объясняется качеством используемого для фильтрации песка. Доказано, что выражение величины зерен песка в виде эффективного размера по Хейзену не применимо при практикуемых там скоростях фильтрования. Там используется термин «процентный размер», который характеризует величину зерен песка, проходящих в определенном проценте через сита с более мелкими отверстиями. На рис. 114 показаны гранулометрический состав песка и его типичное распределение в чикагских фильтрах.

В фильтрах желательно применять зерна однородных размеров из-за тенденции зерен песка группироваться слоями с одина-

<sup>1</sup> См. Committee Report, Filter Sand for Water Purification Practice, Proc. Am. Soc. Civil Engrs., vol. 62, 1936, p. 1543; J. A.W.W. A., August, 1953, p. 872

<sup>2</sup> См. Eng. News-Record, July, 10, 1947, p. 110.

ковыми размерами зерен. Если слой мелкого материала расположен под слоем крупного материала, то могут образоваться комки внутри фильтра, а, если слой крупного материала расположен под слоем мелкого материала, то может образоваться вакуум внутри фильтра, что приведет к выделению из воды пузырьков растворенных в ней газов, т. е. образованию так называемого «воздушного загрязнения» или «взрывов», которые разрушают поверхность фильтра.

Толщина слоя фильтрующего материала должна быть по возможности небольшой, достаточной для удаления бактерий. Толщина слоев, по практическим данным, составляет 60—75 см, чаще 75 см.

**20. Поддерживающие слои гравия.** Гравий укладывается между слоем песка и системой дренажа для предотвращения попадания песка в дренаж и для более равномерного распределения промывной воды.

Гравий не должен перемещаться под воздействием поднимающейся промывной воды. Размеры зерен гравия колеблются от 38 мм внизу до 3 мм сверху слоя гравия<sup>1</sup> при толщине его 230—450 мм. Чем больше интенсивность промывки, тем больше должны быть размеры зерен гравия и больше толщина слоя. На некоторых установках между гравием и песком закрепляется металлическое сито для предотвращения смещения гравия, но неправильная установка сита может быть причиной неполадок в работе фильтра.

**21. Система дренажа<sup>2</sup>.** Система дренажа в фильтре необходима для удаления воды, профильтрованной через песок, и для равномерного распределения промывной воды под песком. Применяются системы дренажа следующих типов:

1) сборная труба (коллектор) и поперечные трубы, перфорированные или снабженные дренажными колпачками. Перфорированные поперечные трубы применяются чаще. На некоторых установках между перфорированными поперечными трубами применяются сборные бетонные блоки, известные под названием блока Вагнера;

2) блоки, покрытые глазурованными плитками, известные под названием блоков Леопольда, с отверстиями и каналами для воды, как показано на рис. 115;

3) «ложное» дно, сборное или какой-либо другой конструкции, например дно Уилера, изображенное на рис. 116;

4) дно из пористых плит (рис. 117);

5) бетонное дно с гребнями и впадинами, показанное на рис. 118;

---

<sup>1</sup> См. также S. T. Barker, and H. F. Ferguson, J. A. W. W. A. 13, 1925, pp. 150, 154.

<sup>2</sup> См. также R. Hazen, там же, March, 1951, p. 208; M. L. Stuppy, and others, там же, June, 1954, p. 548.



6) сборное секционное бетонное дно фирмы Пермутит с подвижными дренажными колпачками;

7) дно с соплами, описанное Гульсбергом<sup>1</sup>.

Как дополнение к дренажной системе непосредственно под поверхностью песка укладываются дренажные трубы Джуэлла<sup>2</sup>. Многие дренажные системы такие, как блоки Леопольда, блоки Вагнера и дно Уилера, являются фирменными конструкциями. Перфорированные дренажные трубы обычно применяются в индивидуальных проектах.

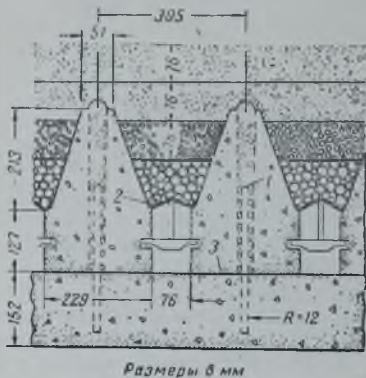


Рис. 118. Разрез гребенчатого бетонного дренажа

1 — суживающее книзу отверстие, заливаемое бетоном; 2 — сетка; 3 — дно фильтра

## 22. Перфорированные дренажные трубы<sup>3</sup>.

Дренаж из перфорированных труб (рис. 119) состоит из центральной трубы-коллектора и присоединенных к ней трубчатых ответвлений. Для коллектора и ответвлений чаще всего применяются чугунные трубы. Отверстия просверливаются в нижней части ответвлений, как показано на рис. 119, и располагаются таким образом, чтобы промывная вода направлялась вниз под углом 30—60° к вертикали. Эрозия или коррозия металла вокруг этих отверстий может быть минимально сокращена облицовкой отверстий латунью

или установкой бронзовых вкладышей. На некоторых установках имеется два или более коллекторов, соединенных между собой.

При проектировании дренажа можно руководствоваться следующими указаниями (по Дженксу и Эллсму)<sup>4</sup>:

1. Отношение длины поперечной трубы к ее диаметру не должно превышать 60.

2. Диаметр отверстий в поперечных трубах должен составлять 12 мм.

3. Расстояние между отверстиями на поперечной трубе может изменяться от 75 мм (при диаметре отверстий 6 мм) до 200 мм (при диаметре отверстий 12 мм).

4. Отношение общей площади отверстий в дренажной систе-

<sup>1</sup> C. W. Hulsbergen, Water & Sewage Works, December, 1952, p. 481.

<sup>2</sup> См. Water Works Eng., Feb. 2, 1938, p. 159.

<sup>3</sup> См. также D. A. Schmitt and P. O. Macqueen, J. A. W. W. A., June, 1942, p. 857.

<sup>4</sup> См. H. N. Jenks, там же, vol. 28, 1936, p. 1541; J. W. Ellms, там же, vol. 18, 1927, p. 664.



ме к общей площади поперечных сечений поперечных труб не должно превышать 0,5 при диаметре отверстий 12 мм и не должно быть меньше 0,25 при диаметре отверстий 6 мм.

5. Отношение общей площади отверстий в дренажной системе ко всей площади фильтра должно составлять 0,002.

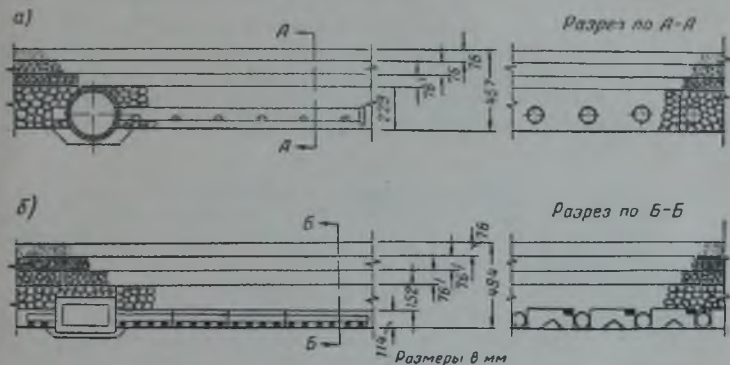


Рис. 119. Дырчатые дренажные трубы (из Richard Hazen, J. A. W. W. A., March, 1951, p. 208)

а — дырчатые поперечные трубы; б — дырчатые поперечные трубы с промывными блоками

6. Расстояние между поперечными трубами может составлять 300 мм, но оно ограничивается общим располагаемым напором.

7. Интенсивность промывки может колебаться от 2,5 до 15 л/сек м<sup>2</sup> при условии, что указанные выше данные соблюдены при расчете.

8. Сумма площадей поперечного сечения поперечных труб должна составлять по меньшей мере удвоенную сумму площадей поперечного сечения отверстий в этих трубах.

9. Площадь поперечного сечения коллектора, питающего поперечные трубы, должна превосходить в 1,75—2 раза сумму площадей поперечного сечения поперечных труб.

Принципы, по которым определяются количество и размер отверстий в перфорированных дренажных трубах, одинаково применимы к другим дренажным системам.

**23. Трубчатые системы с дренажными колпачками.** Трубчатая система с дренажными колпачками аналогична трубчатой перфорированной системе и отличается лишь применением дренажных колпачков, показанных на рис. 120. Такие дренажные трубы применяются в настоящее время главным образом в небольших фильтрах.

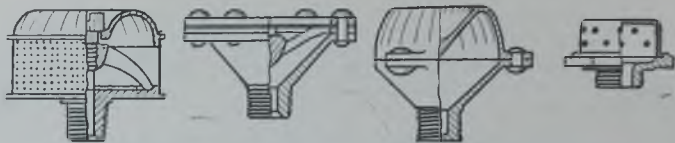


Рис. 120. Дренажные колпачки (по материалам фирмы American Water Softener Co)

**24. Дренаж из пористых плит<sup>1</sup>.** Применение дренажа из пористых плит, таких, как плиты алоксит, изображенные на рис. 117, все время увеличивается. К числу преимуществ такого дренажа можно отнести: 1) отсутствие необходимости в гравии и сортированном песке (вся фильтрующая среда однородна); 2) равномерные скорости фильтрования и равномерное распределение промывной воды по всей площади фильтра; 3) стойкость в отношении коррозии.

Задача удержания пластин на месте при промывке решена, но такие пластины не могут использоваться с успехом в водах, дающих отложения карбонатной пленки, так как очистка пластин затруднительна.

**25. Распределение воздуха.** В фильтрах, в которых для взрыхления используется воздух, дренажная система должна быть приспособлена для его использования, или необходимо предусмотреть специальное воздухораспределительное устройство. Трубы и коллектор этого устройства укладываются непосредственно над трубами водораспределительной дренажной системы таким образом, чтобы они по возможности не мешали действию последней.

Проектирование самостоятельного воздухораспределительного устройства осуществляется по принципам проектирования во-

<sup>1</sup> См. также; T. R. Camp, J. New Engl. Water Works Assoc., March 1935, p. 10; Water Works & Sewerage, March., 1937, p. 84; H. T. Hotchkiss, Water & Sewage Works, vol. 93, p. R-139; F. C. Roe, там же, June, 1949 p. 225; W. H. Berkeley, J. A. W. W. A., June, 1952, p. 491.

дораспределительной системы. Отверстия в воздушных колпачках делаются такого же размера и такой же общей площадью, как и отверстия в водяной системе. Диаметр воздухопроводных труб определяется по скорости движения сжатого воздуха, принимаемой 600 м/мин.

Воздух и вода могут подаваться по тем же трубам, с использованием длинного стержня (хвостовика) на колпачке. Хвостовик выступает открытым концом на  $\frac{1}{2}$  диаметра в воздухопроводную трубу. Небольшое отверстие в хвостовике, остающееся около верха воздухопроводной трубы, служит для прохода воздуха в колпачок, а вода поступает в него через открытый конец хвостовика.

При промывке не следует одновременно применять воздух и воду, когда поверхность воды находится выше края промывного желоба, во избежание выдувания песка в желоба.

**26. Глубина резервуара фильтра.** Глубина резервуара («коробки») определяется по требуемому расстоянию между дном резервуара и необходимым превышением над краем промывного желоба или по максимальному напору, допускаемому при работе фильтра.

Минимальная глубина резервуара фильтра составляет сумму следующих слагаемых:

1) высоты, необходимой для дренажной системы и поддерживающего слоя гравия (она редко бывает меньше 200 мм);

2) толщины слоя песка (обычно 750 мм);

3) расстояния между верхом песка и краем промывного желоба, равного расстоянию, на которое поднимается промывная вода в фильтре за 1 мин., если не применяется продувка воздухом;

4) превышения стенки резервуара над промывным желобом. Минимально оно должно составлять около 150 мм. Для обеспечения запаса во избежание переливания через стенки резервуара фильтра и для обеспечения соответствующего положительного напора между промывками фильтра предпочитается большая глубина.

Резервуары фильтров редко сооружаются глубиной менее 1,8 — 2,4 м, а обычно они бывают глубже.

При установлении требуемой глубины резервуара часто более важной является наибольшая допускаемая потеря напора при работе фильтра. Если в фильтре не допускается давление ниже атмосферного, то глубина резервуара фильтра должна быть равна максимальной потере напора в фильтре плюс достаточный запас над уровнем воды для предотвращения ее переливания через стенки фильтра. Если давление в дренажной системе фильтра может быть ниже атмосферного, глубина резервуара фильтра может быть равна максимальной потере напора в фильтре плюс необходимый запас над уровнем воды и минус допускаемый отрицательный напор на дне фильтра. Чем больше отрицательный напор,

тем меньше требуемая глубина резервуара фильтра, но больше возможность появления затруднений в работе<sup>1</sup>.

**27. Отрицательный напор.** Отрицательный напор в любой точке фильтра равен величине вакуума в этой точке; обычно он бывает максимальным там, где вода поступает в дренажную систему (на уровне *N* на рис. 121). Наличие отрицательного напора при работе фильтра нежелательно ввиду временного перехода растворенных газов из воды в слой песка вследствие уменьшения давления. Эти газы могут скапливаться в песке, вызывая «воздушные загрязнения»<sup>2</sup>, или они могут прорваться через

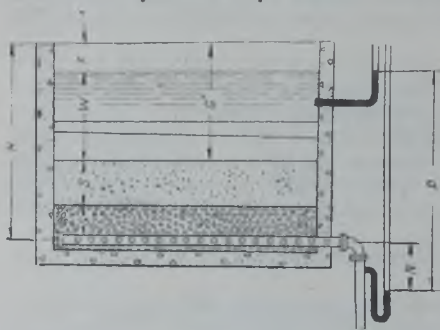


Рис. 121. Схема, изображающая отрицательный напор в скором песчаном фильтре

фильтр, образуя отверстия, через которые может пройти недостаточно профильтрованная вода. В результате «воздушных загрязнений» вода может не проходить через фильтр в том месте, где скопились пузырьки газа. Это может вызвать уменьшение пропускной способности фильтра или перегрузку других его частей. Использование при работе отрицательного давления

имеет то преимущество, что можно принимать меньшую глубину коробки фильтров и позволяет увеличивать срок службы фильтров, если это не вызывает других каких-либо затруднений.

**28. Потеря напора при работе фильтра.** Потеря напора в скором песчаном фильтре немедленно после промывки не должна превышать 10—15 см. Чем мельче песок или чем больше скорость фильтрования, тем больше первоначальная потеря напора.

Максимальная допускаемая потеря напора обычно составляет 2,4—3 м. Большая потеря нежелательна, так как под давлением воды песок может настолько уплотниться, что будет затруднена промывка, или вода будет прорываться через песок без фильтрации.

**29. Регулирование уровня воды на фильтре.** Уровень воды на песчаном фильтре часто соответствует уровню воды на выпускном водосливе из коагуляционного бассейна. Поверхность воды

<sup>1</sup> См. также А. В. Morrill, J. A. W. W., A., April, 1934, p. 445.

<sup>2</sup> См. также J. R. Baylis, Water Works & Sewerage, November, 1930, p. 379.

в фильтре не может опускаться ниже этого уровня, так как в случае понижения уровня ускоряется подача воды из коагуляционного бассейна. При определении уровня воды в фильтре необходимо учесть потери напора в трубопроводе от коагуляционного бассейна к фильтрам, что обычно не делается. Если вода подается в фильтр насосами или другим каким-либо способом, то уровень воды на фильтре можно поддерживать при помощи поплавкового регулирующего впускного клапана, который открывается, когда уровень воды понижается, и закрывается при его подъеме.

На фильтре желательна устраивать переливную трубу. Пропускная способность ее должна быть больше пропускной способности промывного оборудования.

**30. Регулирование скорости фильтрования.** В скорых песчаных фильтрах желательна постоянная скорость фильтрования, так как внезапное увеличение скорости может вызвать прорыв воды через фильтрующий материал без должного осветления или внезапное увеличение отрицательного давления, следствием чего может быть выделение растворенных газов. Внезапное уменьшение скорости фильтрования может также вызвать выделение пузырьков газа в песок и в результате образование отверстий в слое фильтра. Постоянная скорость фильтрования может быть обеспечена вручную или путем автоматического регулирования.

**31. Ручное регулирование скорости фильтрования.** Существуют два способа ручного регулирования скорости. По первому способу вода подается на фильтр в постоянном количестве. Постоянное количество подаваемой воды обеспечивается регулированием впускного клапана. Выпускной клапан в начале работы фильтра постепенно открывается, чтобы поддерживать на фильтре глубину воды, достаточную только для того, чтобы не нарушалась поверхность песка поступающей водой. По мере загрязнения песка и увеличения потери напора в фильтре глубину воды на песке увеличивают. После увеличения до желаемого предела выпускной клапан следует открыть полностью, чтобы уменьшить потерю напора в фильтре. Когда выпускной клапан открыт полностью, а поверхность воды достигает верхнего предела, необходимо промыть фильтр.

Таким образом, при ручном регулировании скорости фильтрования по данному способу уровень воды на фильтре постоянно меняется.

При другом способе ручного регулирования поддерживается постоянная глубина воды на фильтре. Выпускаемая вода проходит через водомер Вентури или другую измерительную трубу или сопло. Количество выпускаемой воды можно поддерживать приблизительно постоянным путем открывания выпускного клапана для компенсации потери напора при прохождении воды через фильтр. Такой способ применяется очень редко и главным образом на небольших временных установках.



**32. Автоматическое регулирование скорости фильтрования<sup>1</sup>.** Существует два типа автоматических регуляторов скорости фильтрования: открытый и затопленный. Работа регулятора открытого типа описана в п. 4 настоящей главы.

Регуляторы открытого типа, подобные изображенным на рис. 102 и 122, редко применяются на скорых песчаных фильтрах.

На практике применяются закрытые регуляторы скорости многообразных типов, но все они работают по принципу трубы Вентури.

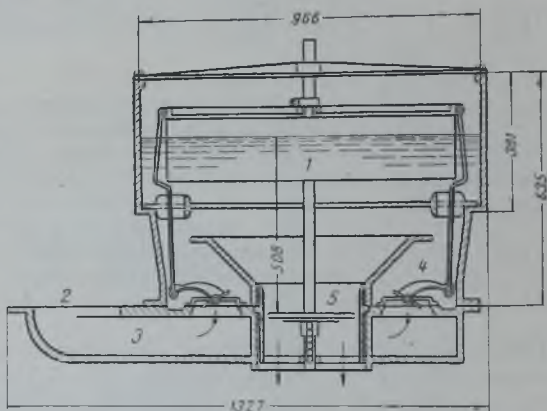


Рис. 122. Регулятор скорости фильтрования открытого или поплавкового типа (из С. G. Richardson, Water & Sewage Works, April, 1953, p. 123)

1 — поплавок; 2 — впуск; 3 — основание; 4 — клапан; 5 — диск

Регуляторы скорости фильтрования представляют собой механизмы заводского изготовления, размеры и пропускная способность их не стандартизированы. На рис. 123 изображен регулятор скорости фильтрования Симплекс. Направление движения воды через аппарат показано стрелками. Если количество воды, проходящее через трубу Вентури, увеличивается, то давления в контрольной камере, где находится уравновешенный клапан, и у горловины увеличатся, но увеличение в контрольной камере будет больше. Под увеличенным давлением гибкая диафрагма прогибается вниз и передвигает уравновешенный клапан, снижая таким образом количество воды. Положение клапана регулирует количество воды, проходящей через регулятор, с помощью передвижного груза на рычаге, как показано на рисунке.

Применяются и другие типы закрытых регуляторов скорости фильтрования. В одном из них разность давлений в трубе Венту-

<sup>1</sup> См. также С. G. Richardson, Water & Sewage Works, April, 1953, p. 123.

ри передается на исполнительный механизм, который в свою очередь регулирует движение воды в двух трубах высокого давления. Последние приводят в действие гидравлическую задвижку на выпускной трубе фильтра, поддерживая такую степень открытия гидравлической задвижки, при которой обеспечивается постоянный расход воды через нее. Другой тип регулятора представляет собой дроссельный клапан, устанавливаемый на выпускной трубе<sup>1</sup>. Плечо с противовесом на шпинделе клапана соединено с поплавком на поверхности воды в фильтре. Если по какой-либо причине уровень воды поднимается, то клапан открывается для компенсации потери напора на фильтре. Таким образом, коли-

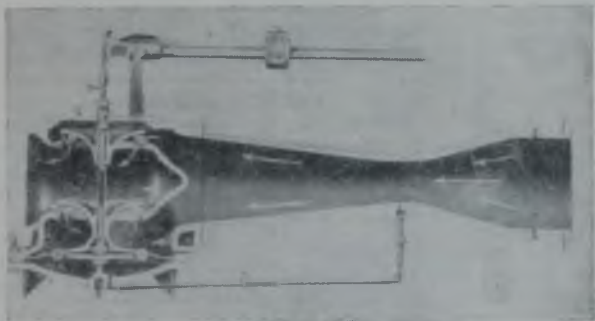


Рис. 123. Регулятор скорости фильтрации Симплекс (по материалам фирмы Simplex Valve and Meter Co)

чество выпускаемой воды автоматически поддерживается равным количеству впускаемой воды.

Когда резервуар чистой воды фильтрующей установки наполняется, желательно понизить скорость фильтрации. Это делается автоматически с помощью главного регулятора, который связан с регуляторами на каждом фильтре.

Точность работы регулятора скорости фильтрации можно проверить путем наполнения водой резервуара фильтра, закрыв все клапаны, кроме выпускного, и наблюдая скорость, с которой опускается уровень воды на фильтре. Разница между показаниями регулятора скорости фильтрации и скоростью падения воды в резервуаре укажет ошибку регулятора.

**33. Галерея трубопроводов.** Галерея трубопроводов представляет собой коридор под полом рабочего помещения между двумя рядами фильтров, в котором обычно размещаются трубы, клапаны, регуляторы скорости фильтрации и другое оборудование, необходимое для работы фильтров.

<sup>1</sup> См. T. J. Riddick, J. A. W. W. A., August, 1952, pp. 733, 742.

Если имеется только один ряд фильтров, галерея с трубопроводами представляет собой коридор, идущий вдоль ряда фильтров.

Поперечный разрез типовой трубной галереи показан на рис. 109. От каждого магистрального трубопровода имеется ответвление к каждому фильтру. На каждом ответвлении установлен запорный клапан, управление которым производится из рабочего помещения, обычно с пульта управления.

В галерее могут быть размещены и другие трубопроводы и проводки, например отопительные трубопроводы, электропроводка и др. Расчетные скорости движения в различных трубопроводах приводятся в табл. 51.

Таблица 51  
Расчетные скорости движения воды в трубах,  
укладываемых в галерее трубопроводов

Трубопроводы	Скорости в м/сек для чугунных труб*
Подающие** . . . . .	0,3—0,6
Отводящие*** . . . . .	1,2
Промывная вода . . . . .	3
Воздух . . . . .	12
Сбросная промывная вода***	1,5—3
Спуск первого фильтрата .	1,5—3

\* В бетонных трубах допускаются несколько меньшие скорости.

\*\* Скорости меньше, чем экономические, во избежание разрушения хлопьев.

\*\*\* Следует использовать напор между фильтром и резервуаром чистой воды или другим выпускным отверстием.

Диаметр магистральных труб меняется по их длине в зависимости от числа обслуживаемых фильтров, за исключением трубопроводов промывной воды и воздуха. Так как одновременно промывается только один фильтр, то расход воды в ответвлениях для промывной воды или воздуха такой же, как и в главном трубопроводе, и поэтому ответвления и главные трубопроводы имеют одинаковый размер.

Некоторую часть ответвления для воздуха следует помещать выше, чем наивысший возможный уровень воды на фильтре. Это необходимо для того, чтобы предотвратить сифонирование воды из резервуара фильтра в воздухопроводы.

В галерее трубопроводов должно быть хорошее освещение, хорошая вентиляция, хороший дренаж и широкие свободные проходы по всей длине галереи. Сырость в галерее можно уменьшить изоляцией труб и осушением воздуха<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. также F. G. Gordon, Pure Water, July, 1954, p. 132.

**34. Материалы и стыки труб.** На фильтровальных станциях применяются в основном чугунные трубы и железобетонные каналы. Для воздухопроводов применяют стальные трубы. Резьбовые соединения на трубах диаметром более 8" применяются редко. Фланцевые соединения имеют хороший вид и легко монтируются, если трубы правильно уложены, и поэтому они широко применяются. Недостатком фланцевого соединения является его жесткость. Такие трубы можно пропускать через бетонную стену при помощи муфты с прокладкой, как показано на рис. 124.

Раструбные соединения труб наименее дорогие. Однако для заделки раструбных стыков требуется относительно большое пространство. Раструбные фасонные части занимают больше места, чем любые другие чугунные фасонные части. При раструбных соединениях необходима осторожность для предотвращения расстройств стыков из-за неуравновешенных напряжений в тупиковых концах. Во избежание этого на тупиковых концах должны быть устроены опоры. Если невозможно устроить постоянные опоры, то нужно укрепить трубы тросами.

**35. Промывка фильтров<sup>1</sup>.** Промывка скорого песчаного фильтра производится обратным током воды через фильтр. На некоторых установках при промывке песок взрыхляют при помощи воздуха или механических граблей.

На новых установках механические грабли не применяются. Воздух применяется сравнительно редко.

Качество промывной воды должно быть таким же, как качество воды, выпускаемой из фильтров, если фильтрование производится в гигиенических целях. Грязная вода из фильтров обычно сбрасывается в канализацию, но на некоторых установках, где вода обходится дорого, грязную воду очищают и снова используют. С этой целью воду отстаивают и пропускают через фильтры.

Промывка скорого фильтра производится следующим образом:

1. Закрывают впускную задвижку и освобождают фильтр от воды. Некоторые операторы допускают, чтобы резервуар фильтра опорожнялся только до края промывного желоба, другие — до поверхности песка, третьи — до среднего уровня между поверхностью песка и краем промывного желоба.

2. Закрывают выпускную задвижку.



Рис. 124. Уплотнение чугунной трубы при проходе через бетонную стену

<sup>1</sup> См. также J. R. Baylis, J. A. W. W. A., February, 1954 p. 176.

3. Открывают задвижку для спуска промывной воды в канализацию (если вода не используется снова для промывки).

4. Постепенно открывают задвижку промывной воды, чтобы не происходило смещения гравия вовлеченным воздухом; воду пропускают через фильтр и промывные желоба до тех пор, пока не станет очевидным, что фильтр очищен должным образом.

5. Закрывают задвижку промывной воды.

6. Закрывают задвижку отработавшей воды на спускной трубе после того, как вода в фильтре дошла до края водопромывного желоба.

7. Слегка открывают впускную задвижку.

8. Открывают задвижку повторной промывки и часть воды спускают в сточную трубу (этого часто не делают).

9. Закрывают задвижку повторной промывки.

10. Открывают впускную и выпускную задвижки и фильтр готов к эксплуатации.

Промывную воду, как правило, сначала следует впускать постепенно во избежание скопления ее в нескольких местах дренажной системы, в результате чего может произойти смешение гравия с песком. На некоторых установках применяются регуляторы интенсивности промывки, которые работают автоматически или управляются вручную<sup>1</sup>.

Если применяется побуждение воздухом, то одновременное использование воздуха и воды нежелательно из-за опасности смещения гравия или вовлечения песка в промывной желоб.

Действие струи промывной воды на гравий или песок нежелательно из-за опасности смещения гравия или образования намылов и вымоин в фильтрующем слое. Задвижку на воздухопроводе иногда открывают раньше задвижки на трубопроводе промывной воды для того, чтобы разрушить поверхность песка и облегчить проход промывной воды через песок.

**36. Поверхностная промывка.** Поверхностная промывка заключается в промывке водой поверхности или верхнего слоя под поверхностью песка в фильтре с одновременным механическим побуждением или без него<sup>2</sup>. На некоторых установках распределительная система промывной воды подвешена на высоте около 100 мм над непо потревоженной поверхностью песка. Система снабжена отверстиями, направленными вниз для подачи струй воды под высоким давлением. Вода может также пускаться одновременно на поверхность и под поверхность песка. Вихревое действие промывной воды заставляет песчинки тереться одну о другую.

На некоторых установках применяют разрушение поверхности струей, подаваемой под высоким давлением из пожарного ру-

<sup>1</sup> См. также C. I. Dodd, U.A.W.W. A., March, 1937, p. 322.

<sup>2</sup> См. также J. R. Baylis, J. New Engl. Water Works Assoc., vol. 51, 1937, pp. 1, 26.



кава; на других установках для промывки поверхности применяют отрезок перфорированной трубы, присоединенный к пожарному рукаву, двигая его по поверхности песка во время промывки.

Широко применяется промыватель («ажитатор») фильтрующего слоя Пальмера — механизм заводского изготовления. Он представляет собой вращающееся плечо, в виде перфорированной трубы, приводимое в движение под реактивным действием струй, вытекающих из отверстия. Ажитатор подвешивается над непо потревоженной поверхностью песка. Он применяется в сочетании с подповерхностной промывкой.

**37. Расширение песка.** При промывке песок расширяется с увеличением его объема на 140—150% против непо потревоженного объема. Граница поверхности песка во время промывки может определяться с помощью защищенной электрической лампочки на конце стержня, который держит в руках оператор<sup>1</sup>, или с помощью перевернутого пустотелого конуса с противовесом<sup>2</sup>, соединенного с индикатором на пульте управления, или в другом удобном месте, а также с помощью других средств.

При расширении песка происходит трение песчинок одна об другую. Слишком большое расширение рассеивает песчинки на столько, что они не будут касаться друг друга, а слишком малое расширение даст недостаточное трение.

Так как величина расширения зависит от вязкости промывной воды, скорости ее подъема и других условий и так как вязкость воды изменяется в зависимости от температуры, а температура от времени года, то интенсивность промывки не должна быть одинаковой в течение года. Иногда на промывных трубопроводах устанавливаются регуляторы интенсивности промывки, соединенные с измерительным прибором, чтобы оператор мог знать, с какой интенсивностью промывается фильтр.

**38. Давление промывной воды.** Давление, под которым следует подавать промывную воду, составляет около 4,5 м при измерении его в дренажной системе. Потери напора в трубопроводах и дренажной системе по практическим данным составляют 3—19 м в зависимости от интенсивности промывки и других условий.

Давление промывной воды можно получить тремя способами:

1) с помощью водонапорного резервуара, в который непрерывно перекачивается вода в таком количестве, чтобы наполнить резервуар в период между промывками;

2) с помощью специального промывного насоса, который работает только во время промывки;

<sup>1</sup> См. также G. F. Gilkinson, Proc. 9 th Ann. Water Works School, Univ. Kansas, 1931, p. 106; E. S. Hopkins, Eng. News-Record, May 23, 1929, p. 844.

<sup>2</sup> См. также Water Works Eng., Jan. 5, 1938, p. 33.

3) путем забора воды из водопроводной городской распределительной системы через редукционный клапан, уменьшающий давление.

Чаще всего применяются первый и второй способы. Третий способ ввиду его недостатков почти не применяется.

**39. Интенсивность промывки.** Интенсивность промывки при отсутствии других видов побуждения принимают  $2 \text{ фут}^3/\text{воды}$  в 1 мин. на  $1 \text{ фут}^2$  фильтрующей поверхности ( $11 \text{ л/сек м}^2$ ), что эквивалентно подъему воды в резервуаре фильтра на 24" в мин. ( $60 \text{ см/мин}$ ).

Существует тенденция применять более высокую интенсивность промывки главным образом потому, что применяется более крупный песок, который требует более быстрой подачи воды для равномерного расширения. Емкость резервуара промывной воды должна быть достаточной для промывки двух фильтров в течение 5—6 мин. при максимальной интенсивности<sup>1</sup>.

**40. Удаление промывной воды**<sup>2</sup>. Загрязненная промывная вода может быть или спущена в общественную канализацию, или обработана на специальной установке для промывной воды и возвращена на фильтрующую установку, или сброшена в ближайший водоем после отстаивания с коагулированием или без него.

**41. Оборудование для взрыхления воздухом.** Промывной воздух обычно подается воздуходувкой или компрессором, но он может подаваться и из резервуара, куда он нагнетается в период между промывками. Воздух для взрыхления следует подавать с интенсивностью около 2—5 куб. футов воздуха в 1 мин. на 1 кв. фут фильтрующей поверхности ( $10\text{—}25 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ ) в течение около 5 мин. Давление воздуха должно быть несколько большим, чем глубина воды над воздухопроводительной системой, плюс потери напора на трение в воздухопроводных трубах, которые обычно очень малы. В резервуаре для промывного воздуха должно находиться, по меньшей мере, двойное количество воздуха, необходимого для промывки одного фильтра.

Все оборудование для подачи промывной воды и воздуха должно быть дублировано.

**42. Продолжительность промывки.** Только путем непосредственного наблюдения можно установить тот момент, когда фильтр оказывается промытым в достаточной степени. Опытный оператор определяет этот момент по виду поднимающейся в фильтре воды, через которую виден слой песка. При промывке песок должен подниматься равномерно по всей площади фильтра. Промывка не должна быть бурной, чтобы песок не унесло в желоба промывной воды. Промывку обычно прекращают, когда вода становится прозрачной настолько, что виден песок. По окончании

<sup>1</sup> См. Water Treatment Plant Design, Am. Soc. Civil Engrs., Manual of Engineering Practice 19, 1940, p. 78.

<sup>2</sup> См. также H. R. Hale, J. A. W. W. A., December, 1947, p. 1219.

промывки песок должен осесть обратно ровным слоем. Продолжительность промывки обычно составляет около 3—6 мин. Для промывки желательнее использовать как можно меньше воды ввиду ее большой стоимости. На правильно работающей установке количество промывной воды не должно превышать 2% общего количества фильтруемой воды. Иногда расход промывной воды меньше, а иногда больше.

Ниже приведены некоторые соображения, основанные на практике промывки фильтров<sup>1</sup>:

1) применение при промывке воздуха может принести больше вреда, чем пользы из-за вовлечения воздушных пузырьков в гравий и песок и вдувания гравия в песок;

2) подъем промывной воды при стандартных интенсивностях промывки недостаточен для удаления тяжелых частиц глины, вследствие чего они скапливаются в фильтрующем слое;

3) недостаточно промытые песчинки могут слипаться под давлением промывной воды, следствием чего может быть образование холмов и трещин на поверхности фильтра;

4) при наполнении фильтра после обратной промывки через дренажную систему возможно нарушение слоя гравия, который может смешаться с песком.

**43. Пульт управления и оборудование.** На пульте управления сосредоточено оборудование, необходимое для контроля за работой фильтра (рис. 125). К числу задвижек, регулируемых с пульта управления, относятся:

Впуск	Сточная вода в канализацию	Воздух для взрыхления
Выпуск	Промывная вода	Повторная промывка

Другое оборудование:

Измеритель потери напора	Механизм для проб	Измеритель скорости течения
--------------------------	-------------------	-----------------------------

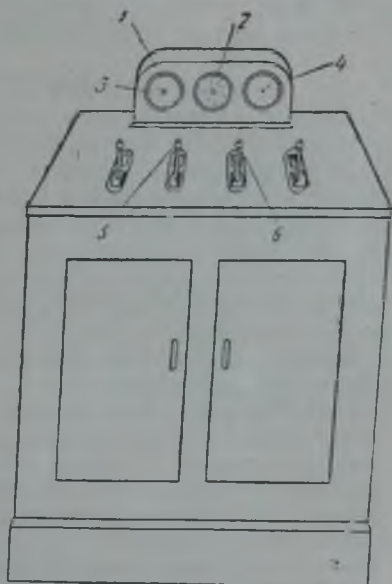


Рис. 125. Стол управления скоростью песчаными фильтрами (взято из The Sanitary Industry)

1 — измеритель потери напора; 2 — записывающий прибор; 3 — измеритель скорости течения; 4 — измеритель расширения песка; 5 — рычаг для управления задвижкой; 6 — указатель степени открытия задвижки

<sup>1</sup> См. также Т. D. Key, Water and Water Eng., January, 1949, p. 25.

Задвижки могут быть электрифицированные или гидравлические. Контрольные рукоятки или кнопки группируются на пульте управления в определенном порядке. Если установлены ручные задвижки, управление ими производится при помощи штурвалов на шпинделе, выведенном на рабочую площадку. Так как существует определенная последовательность операций при промывке, то на некоторых установках применяется автоматическое управление фильтрами.

Для передачи давления от трубопроводов, расположенных в галерее, к измерительным приборам, смонтированным на пульте управления, лучше применять медные трубы, так как стальные трубы подвергаются коррозии.

**44. Измерители потери давления.** Простейший прибор для измерения потери давления показан на рис. 121. Однако этот прибор оказывается непригодным для постоянного пользования им в процессе эксплуатации, так как разница уровней воды в двух пьезометрах к моменту промывки обычно очень велика и за ней нельзя наблюдать из одного места. Поэтому применяются такие приборы, которые передают показания разницы уровней в одно место, на пульт управления.

**45. Резервуар чистой воды.** Резервуар чистой воды играет роль уравнивающего резервуара, наличие которого позволяет фильтрам работать с постоянной производительностью. Емкость резервуара определяется аналогично методу, описанному в п. 2 главы VI. Обычно емкость резервуара принимается равной 8—12-часовому запасу. Часто желательно иметь дополнительный запас в резервуарах распределительной системы. Смотровые колодцы в покрытых бассейнах должны быть водонепроницаемыми. Во избежание резкого колебания давления воздуха в резервуаре при его наполнении и опорожнении необходима вентиляция. В районе расположения резервуара чистой воды не следует разрешать прокладку канализационных труб.

**46. Наблюдения за работой скорых песчаных фильтров.** При контроле за работой фильтрующей установки проводят наблюдения:

- 1) за суточным количеством обрабатываемой воды;
- 2) за продолжительностью работы каждого фильтра между промывками;
- 3) за количеством израсходованной промывной воды для каждого фильтра в процентах;
- 4) за количеством использованных для различных целей реагентов;
- 5) за щелочностью, мутностью, цветностью, температурой и, по возможности, количеством взвешенных веществ в сырой, отстоенной, фильтрованной и хлорированной воде;
- 6) проводятся анализы на присутствие бактерий коли в сырой, отстоенной, фильтрованной и хлорированной воде<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. также С. Р. Hoover, J. A. W. W. A., 1933, p. 1279.

Следует избегать:

- 1) образования комков грязи;
- 2) растрескивания или усадки фильтрующего слоя;
- 3) перегрузки;
- 4) уменьшения продолжительности работы фильтров между промывками;
- 5) образования «воздушных загрязнений»;
- 6) потери песка;
- 7) увеличения размеров частиц песка;
- 8) смещения гравия<sup>1</sup>.

**47. Проникновение хлопьев.** Хлопья могут проникать глубоко в фильтр. Глубина проникновения зависит от скорости фильтрации, потери напора при прохождении воды через фильтр, плотности взвешенных веществ в воде, пористости фильтрующего материала, температуры и показателя хлопьев (см. п. 36 главы XII). При нормальных условиях работы хлопья не должны проникать более чем на 5—15 см, после чего быстро увеличивается потеря напора и требуется промывка фильтра.

**48. Грязевые комки.** Комки грязи представляют собой зерна песка и материала, вынесенного из отстойного бассейна, сцементированные в комья величиной от горошины до 2,5—5 см или более в диаметре. Вследствие меньшего удельного веса комья скапливаются вблизи поверхности фильтра. Если удельный вес комьев равен или больше удельного веса песка<sup>2</sup>, они распространяются по всей толще песка и в некоторых случаях крепко прилипают к гравию. Комья грязи скапливаются в тех местах, где подъем промывной воды происходит менее бурно, что способствует еще более неравномерному подъему промывной воды и неравномерной промывке фильтра<sup>3</sup>. Большие слипшиеся куски песка часто прилипают к гравию или к стенкам фильтра. Полагают, что причиной образования комьев грязи является недостаточная промывка песка и в результате прилипания студенистого материала к поверхности зерен песка. Это явление чаще всего наблюдается при мелком песке диаметром менее 0,4 мм, и особенно при наличии в воде микроорганизмов, марганца и других веществ. Хотя при 50% расширения песка образование комьев грязи бывает минимальным, все же одно только это мероприятие не является достаточно эффективным. На некоторых установках самым эффективным средством предотвращения образования комьев грязи оказался контроль за качеством воды<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> См. также H. E. Hudson, Jr., J. New, Engl. Water Works Assoc. March, 1937, p. 1.

<sup>2</sup> См. также E. R. Baylis, Jr., там же, March, 1937, p. 1.

<sup>3</sup> См. также E. S. Hopkins, J. Penna., Water Works Operators' Assoc., 1932, p. 74.

<sup>4</sup> См. также J. K. Baylis, Water Works & Sewerage, January, 1935, p. 20.



Возможны следующие способы удаления комьев грязи и затвердевших образований в загрузке фильтра:

1) вылавливание их с поверхности с помощью сетки в то время, когда промывная вода проходит через фильтр с небольшой скоростью;

2) разбивание их скребками и острыми кирками с последующей промывкой частиц;

3) разбивание комков грязи струей воды из брандспойта или путем поверхностной промывки с большой интенсивностью;

4) промывка фильтра или выдерживание его в течение 48 час. наполненным водой с раствором химикалий, как указано далее в п. 50 настоящей главы;

5) рыхление твердых образований лопатами;

6) удаление, очистка и замена песка.

Бейлис<sup>1</sup> считает, что, если объем комков в верхнем слое фильтра толщиной 15 см меньше 0,1% объема песка в этом же слое, то состояние фильтра может считаться отличным, если же объем комков составляет 5% или более, то это значит, что фильтр находится в плохом состоянии. Главной опасностью присутствия комков грязи в фильтре является возможность растрескивания и забивания фильтрующего слоя.

**49. Растрескивание и забивание фильтрующего слоя.** Появление трещины и отход песка от боковых стенок фильтра вызывается сжатием мягкого студенистого покрытия на зернах песка. Сжатие происходит в результате скучивания песка в отдельных местах из-за увеличения потери напора во время работы фильтра. Этого можно избежать с помощью таких же способов, которые применяются для удаления комков грязи.

Результатом усадки фильтрующего слоя является проникновение грязи глубоко в фильтрующий слой, даже в гравий, ухудшение промывки фильтра и эффективности фильтрования. На рис. 126 представлены картины образования трещин в фильтре и проникновение загрязнений и коагулянта в фильтрующий слой по предположениям Бейлиса<sup>2</sup>.

**50. Очистка скорого песчаного фильтра.** Время от времени необходимо производить очистку песка или гравия фильтра во избежание образования комков грязи, растрескивания и т. д. Обычно очистка является только временным средством. В каждом случае должны быть выяснены причины забивания. Очистка производится путем обработки фильтра различными химическими материалами: каустической содой, серной или соляной кислотой, кальцинированной содой, сероводородом и хлором<sup>3</sup>. Хлор можно применять для

<sup>1</sup> J. R. Baylis, J. A. W. W. A., July, 1937, pp. 1010, 1022.

<sup>2</sup> J. R. Baylis, Pure Water, December, 1952.

<sup>3</sup> См. также J. C. Geyer, J. A. W. W. A., May, 1937, p. 668; Water Works Eng., Feb. 2, 1938, p. 149; J. R. Baylis, J. New Engl. Water Works Assoc., vol. 51, 1937 p. 1; C. R. Cox, Water Supply Control, New York State, Dept. Health, Bull. 22, 1943, p. 77 ff.

удаления загрязнений биологического происхождения; медный купорос эффективен для борьбы с водорослями; каустическая сода эффективна против хлопьев сернокислого алюминия и органических веществ; соляная кислота или углекислота — против отложения карбоната кальция, а сернистый газ — для растворения железа, марганца или сернокислого алюминия. На небольших установках могут применяться препараты ХТХ, Перхлорон или Клорокс. Жидкий хлор используется более экономично на крупных

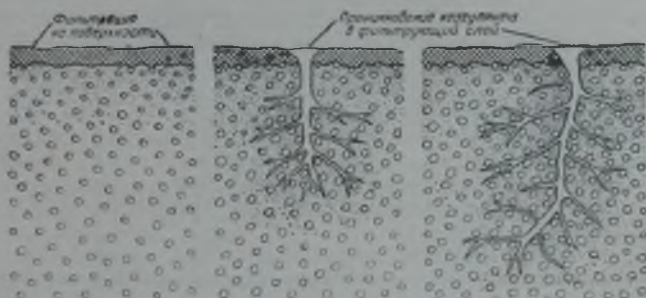


Рис. 126. Схема образования трещин и проникновения загрязнений в скорый песчаный фильтр (по материалам John R. Baylis)

фильтрах. Хлор можно применять в виде раствора в концентрации около 50 мг/л. Раствор должен находиться в контакте с песком в течение 4—24 час. или более. Каустическую соду можно применять в растворе или, что лучше, путем распределения хлопьевидного материала по фильтрующей поверхности, из расчета 5—15 кг на 1 м<sup>2</sup>. Сода растворяется при подъеме промывной воды на 100—125 мм над песком.

Сернистый газ применяется как запатентованный способ<sup>1</sup> для очистки песка фильтра, загрязненного железом или марганцем. При очистке 1—2%-ный водный раствор сернистого газа подается насосом в фильтр и циркулирует в дренажной системе и фильтре в течение 24 час. Этот способ не может рекомендоваться, если зерна песка покрыты отложениями карбоната кальция, так как в этом случае возможно слипание всех зерен песка под воздействием образующегося сульфата или сульфита кальция<sup>2</sup>. Перед химической обработкой тем или иным способом пробы песка, который должен быть очищен, следует испытать в лаборатории на действие химикалия, который предполагается применять. В

<sup>1</sup> U. S. Patent 2069621.

<sup>2</sup> См. также C. F. Angle, Water & Sewage Works, March, 1947, p. 1947; J. P. Harris, Public Health Eng. Abs, June, 1948, p. 31.

табл. 52 указаны концентрации и периоды контакта некоторых химикалий по практическим данным. После применения химикалия фильтр следует тщательно промыть для удаления оставшихся химических веществ.

Таблица 52

Химикалии, применяемые для очистки фильтров

Химикалии	Количество используемого химикалия или крепость раствора	Продолжительность контакта в час.
Каустическая сода NaOH и кальцинированная сода Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	8,7 кг/м <sup>2</sup> и 26 кг/м <sup>2</sup>	48**
Каустическая сода . . . . .	3,9—5,8 кг/м <sup>2</sup>	22—72
Кальцинированная сода . . . . .	0,024 кг/л	24—36
Серная кислота . . . . .	0,44 кг/м <sup>2</sup>	4
Хлор . . . . .	1,2—1,4 кг на 1 000 м <sup>3</sup> и 50 мг/л [58]	48
Сернистый газ* . . . . .	2%	16

\* Water Works Eng., Feb. 2, 1938, p. 149.

\*\* Резервуар обогревается паром.

Обращение с химикалиями, применяемыми при очистке скорых песчаных фильтров, представляет опасность.

Специальным комитетом Американской водопроводной ассоциации разработаны меры предосторожности и способы обращения с такими химикалиями<sup>1</sup>.

К механическим способам очистки фильтров на месте следует отнести: очистку поверхности скребком, применение высоконапорной струи воды, удаление недоброкачественного песка и применение пара. В некоторых случаях песок можно удалять из фильтра ручными инструментами или гидравлическим эжектором и производить очистку вне фильтра.

Все эти способы полезны при неожиданных неполадках.

**51. Продолжительность работы фильтров.** Продолжительность работы фильтров зависит от качества сырой воды, скорости фильтрования, потери напора, допускаемой между промывками, и тщательности промывки. Качество сырой воды зависит от степени предварительной обработки ее в коагуляционном бассейне (качества реагентов, продолжительности отстаивания); повышенная мутность или увеличение содержания микроорганизмов сокращает продолжительность работы фильтра<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. также L. A. Marshall, Water Works Eng., Sept. 24, 1930 p. 443.

По практическим данным, как указывает Бейлис<sup>1</sup>, продолжительность работы фильтра при скорости фильтрования 5 м/час в 2,3 раза больше продолжительности работы фильтра при скорости фильтрования 12,5 м/час; при более высокой скорости фильтрования через фильтр проходит между промывками на 8% больше воды.

Продолжительность работы можно удлинить за счет более тщательной предварительной обработки воды или за счет уменьшения скорости фильтрования. Если допускается слишком большая потеря напора между промывками, продолжительность работы фильтра может быть уменьшена из-за «воздушных загрязнений», образовавшихся в результате скопления газов, и выделения их из раствора, из-за уменьшения давления в фильтре. Средством против этого является уменьшение допускаемой потери напора между промывками. На некоторых установках продолжительность работы может быть увеличена путем «встряхивания» фильтра временами между промывками. Фильтр «встряхивается» обычным способом путем использования промывной воды для разрушения грязевой пленки.

**52. Потеря песка.** Обычно песок уносится из фильтра промывной водой, так как увеличение зерен песка за счет прилипшего к ним материала уменьшает удельный вес зерна и увеличивает его поверхность, подвергшуюся действию промывной воды. Потеря песка увеличивается при уменьшении температуры промывной воды вследствие увеличения ее подъемной силы из-за увеличения вязкости. Поскольку причиной затруднений в работе фильтров является загрязнение песка, уменьшение интенсивности промывки может ухудшить состояние фильтра или вызвать другие осложнения в его работе.

**53. Увеличение размеров частиц песка.** Увеличение размеров частиц песка в фильтре обуславливается качеством сырой воды, вызывающим отложение чешуек или студенистого слоя на поверхности песка. Твердые чешуйки карбоната кальция могут образоваться на фильтрах известково-содовой умягчительной установки вследствие неполной рекарбонизации; растворенный карбонат кальция выделяется из раствора при недостатке растворенной углекислоты. Увеличение содержания углекислоты может способствовать растворению марганца, который откладывается на зернах песка<sup>2</sup>.

Во избежание этого необходим контроль за качеством воды, подаваемой в фильтр.

**54. Смещение гравия.** Смещение гравия в фильтре может происходить из-за повреждения дренажной системы, из-за неравномерного распределения промывной воды или вследствие слишком высокой интенсивности промывки.

<sup>1</sup> J. R. Baylis, *Pure Water*, June, 1951.

<sup>2</sup> См. также L. V. Carpenter, *Am. J. Public Health*, October, 1931 p. 1153.

Положение ухудшается, когда вследствие неравномерного распределения промывной воды происходят смешение гравия с песком и попадание песка в дренажную систему. Исправить это можно или путем уменьшения скорости фильтрования, или путем ремонта, или заменой дренажной системы. Попадание песка в дренажную систему представляет опасность, так как ремонт дренажной системы дорого обходится ввиду необходимости остановки фильтра и замены дренажных труб.

Смещенный гравий в фильтре иногда можно вернуть на место без остановки фильтра путем протаскивания правила по поверхности во время промывки фильтра.

**55. Допускаемые нагрузки на очистные установки.** В табл. 53 приведены стандарты на качество сырой воды, при обработке ее на очистных установках.

Таблица 53

Стандарты на качество сырой воды в источнике, требующей обработки\*

Показатели	Только дезинфекция	Фильтрование и дезинфекция	Фильтрование, специальная дополнительная обработка и дезинфекция
Биохимическое потребление кислорода в мг/л:			
среднемесячное . . . . .	0,75	1,5—2,5	2,0—5,5
максимальное в отдельные дни	1,0	3,0—3,5	4,0—7,5
Количество бактерий Коли в 100 мл воды:			
среднемесячное . . . . .	50—100	240—5 000	10 000—20 000
максимальное в отдельные дни или в пробе	—	20% 5 000 5% 20 000**	(TVA) [59] —
Растворенный кислород в мг/л: . . .	4—7,5	2,5—7	2,5—6,5
% насыщения . . . . .	50—75	25—75	—
рН, средняя . . . . .	6,0—8,5	5—9	3,8—10,5
Максимальное содержание в мг/л:			
хлоридов . . . . .	50	250	500
Fe+Mn . . . . .	0,3	1	1
фенольных соединений . . . . .	Нет	0,005	0,025
Содержание флюоридов . . . . .	1	1	1
Цветность, мг/л (град). . . . .	0,20	20—70	150
Мутность мг/л . . . . .	0—10	40—250	

\* Из „Water Quality Criteria“, State Water Pollution Control Board Sacramento, Calif., 1952.

\*\* См. J. A. W. W. A., vol. 84, 1946, p. 61; U. S. Public Health Service Bull. 296.

Такие вещества, как цинк, марганец, железо и некоторые другие, подобные им, элементы, могут в любых пределах удаляться на очистных сооружениях, если не считаться с экономической стороной вопроса. Ни одного способа очистки воды от хлористого



натрия еще не создано, и поэтому содержание его в сырой воде ограничено теми же пределами, которые допускаются в обработанной воде. К другим веществам, которые следует удалять на очистных установках, относятся фенолы и крезолы, а также другие смолородные продукты, являющиеся побочными продуктами газового и коксового производства. Присутствие разлагающихся овощей и чрезмерное развитие микроорганизмов нежелательно в сырой воде и поэтому их следует удалять.

**56. Эффект работы скорых песчаных фильтров.** Скорые песчаные фильтры удаляют из воды взвешенные вещества, цветность, запахи и бактерии и делают таким образом воду пригодной для хозяйственного и промышленного потребления.

Сырая вода мутностью 35—40 мг/л может успешно обрабатываться скорым фильтрованием. Цветность может быть уменьшена до 10 мг/л и менее. Удаление бактерий только на фильтрах является обычно недостаточным для того, чтобы вода была безопасной в гигиеническом отношении. При большом содержании бактерий процесс фильтрования следует дополнить дезинфекцией.

Стритер<sup>1</sup> выразил содержание бактерий в воде после отстаивания и коагулирования в зависимости от содержания бактерий в сырой воде следующей формулой:

$$E_a = \frac{cR^n}{\lg T},$$

где  $R$  — содержание бактерий в сырой воде;

$E_a$  — содержание бактерий в воде, выпускаемой из отстойного бассейна;

$c$  и  $n$  — эмпирические коэффициенты. (Если  $T$  выражено в час., то  $c$  и  $n$ , по опытным данным, равны соответственно 0,57 и 0,88.)

Служба здравоохранения США<sup>2</sup> выражает отношение между содержанием бактерий в сырой и обработанной воде в виде

$$y = cx^n,$$

где  $x$  и  $y$  означают соответственно содержание бактерий в сырой и обработанной воде.

Некоторые данные об эффективности работы скорых песчаных фильтров приведены в табл. 54. Исчерпывающее обобщение этих данных приведено в Public Health Bulletin, 172, 1927.

**57. Напорные фильтры.** Напорный фильтр представляет собой скорый песчаный фильтр, помещенный в закрытый водонепроницаемый резервуар-цистерну (рис. 127). Вода проходит через песок и выходит из фильтра под давлением, большим атмосферно-

<sup>1</sup> H. W. Streeter, Public Works, December, 1933, p. 17

<sup>2</sup> The Efficiency of Water Purification Processes, Public Health 193, 1930.

го. Фильтр работает так же, как самотечный за исключением того, что коагулированная вода обычно поступает непосредственно в фильтр без смешения, флокуляции или другой какой-либо обработки. Имеются автоматические фильтры, в которых обратная промывка происходит автоматически в заранее установленное время или при определенной потере напора. Потеря напора в напорных фильтрах примерно такая же, как и в самотечном открытом фильтре.

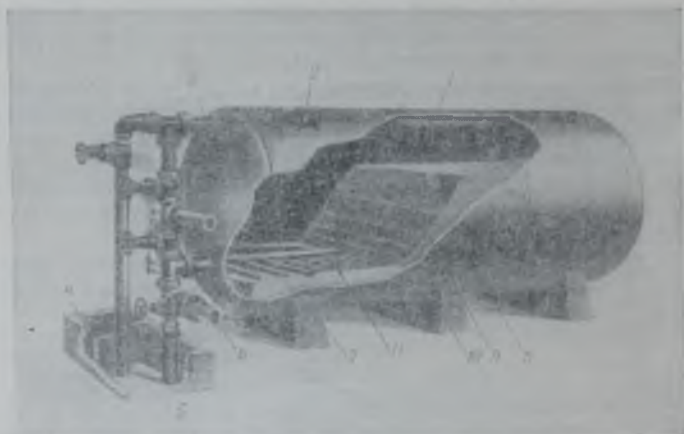


Рис. 127. Напорный горизонтальный фильтр (по материалам фирмы Permutit Co)

1 — распределительная труба; 2 — смотровой люк; 3 — впуск сырой воды; 4 — сливная труба; 5 — приямок; 6 — выпуск фильтрованной воды; 7 — бетонная подготовка; 8 — мелкий песок; 9 — крупный песок; 10 — сортированный гравий; 11 — дренажная система с колпачками

Напорные фильтры применяются главным образом на небольших установках, а также в производственном водоснабжении.

Коагулянт (обычно алюмо-аммиачные квасцы) дозируется при помощи устройства «alum pot», представляющего собой напорный дозатор, установленный на подающем трубопроводе, (см. рис. 95). Алюмо-аммиачные квасцы используются потому, что их растворимость меньше растворимости обычного сернокислого алюминия. Применение их имеет преимущество в тех случаях, когда для дезинфекции используются хлорамины.

На городских водопроводах напорные фильтры применяются очень редко вследствие большой их стоимости, недостаточной эффективности фильтрования и относительно плохих получаемых результатов.

## Эффект удаления бактерий при различных стадиях очистки

Вода	Цинцинати*				Луневилл*			
	Бактерии коли 1 см <sup>3</sup> воды							
Сырая . . . . .	685	3 150	9 190	26 400	845	3 350	7 620	30 900
Отстоенная . . . .	362	759	1 170	1 690	592	1 540	2 500	2 490
Коагулированная	84	183	256	524	116	228	369	633
Фильтрованная . .	10	26	43	140	9	13	16	30
Хлорированная	2,5	9	20	44	0,9	2,9	3,9	6
При сочетании всех процессов в % . . . . .	99,63	99,68	99,78	99,84	99,89	99,91	99,95	99,98

Продолжение табл. 54

Вода	Акрон**		Цинцинати**		Портсмут**	
	Процент удаления					
	Об- щий	Бактерии коли	Общий	Бактерии коли	Об- щий	Бактерии коли
Отстоенная . . . .	73	82	80—90 87,3***	80—90 83,1****	—	—
Коагулированная	38	69	70—90 83,8	70—80 77,5	70	—
Фильтрованная	81	61	80 или больше	80 или больше	50	—
Хлорированная	—	—	75,3***	84,6**	—	—
При сочетании всех процессов в % . . . . .	—	—	99,93***	99,95**	—	—

\* Studies of the Effect of Water Purification Processes, Public Health Bull., 172, 1927.

\*\* Доклад на конференции в Огайо по вопросу очистки воды, 1922.

\*\*\* Среднее за 1917—1921 гг. включительно.

\*\*\*\* Показатель бактерий коли, средний за 1917—1921 гг. включительно.

**58. Двойное фильтрование.** Двойное фильтрование представляет собой последовательное фильтрование воды через два или более медленных песчаных фильтра, или через скорый и медленный фильтр, или через два скорых фильтра.

Если применяется двойное фильтрование, то в качестве предварительного используется «грубый» фильтр типа скорого песчаного. Но независимо от типа предварительного фильтра фильтрующий материал в предварительном фильтре всегда бывает крупнее и скорость фильтрования больше, чем в конечном фильт-

ре. Для грубых фильтров редко требуется применение коагулянта; они могут работать с нагрузкой 130 галл. в 1 мин. на 1 фут<sup>2</sup> (со скоростью фильтрования 317 м/час) [60].

Двойное фильтрование считается полезным главным образом при необходимости увеличения пропускной способности существующих медленных песчаных фильтров, если имеющаяся площадь не позволяет увеличить их размеры. Так, например, в результате предварительной обработки пропускная способность медленных песчаных фильтров в Уолтоне (Англия)<sup>1</sup> была увеличена вдвое.

---

<sup>1</sup> Water Works, September, 1926, p. 419.

Определение карбонатного баланса воды описывается в главе XVI. Вообще, считается достаточным доводить карбонатную щелочность примерно до 0,5 мг-эка/л, что соответствует рН 8,2—8,5. Если рН мал, то следует добавлять соду, а если он слишком велик, то следует использовать сернистый алюминий или углекислоту.

**3. Методы умягчения воды.** Умягчение воды в городских водопроводах производится известково-содовым способом или способом катионного обмена. В Англии применяют каталитическое осаждение<sup>1</sup>. Вода, предназначенная для промышленных целей, может быть умягчена указанными способами или с помощью синтетических органических моющих веществ, так называемых «мыл на базе сульфинированных нефтепродуктов» или родственных им веществ и составов, обычно содержащих органические соединения.

**4. Известково-содовый способ умягчения.** На рис. 128 показана схема движения воды в городской умягчительной установке. Процесс умягчения включает в себя тщательное перемешивание химикалий с водой, после чего производится медленное помешивание в течение 30—60 мин. для завершения химической реакции. Продолжительность перемешивания зависит от температуры, так как химические реакции и отстаивание происходят быстрее при более высоких температурах. При температуре воды 4° площадь отстойных сооружений требуется в 2 раза большая, чем при температуре 23°.

Нерастворенные химикалии удаляются путем отстаивания или фильтрования или с помощью того и другого. После отстаивания воду можно рекарбонизировать для восстановления карбонатного баланса. Процесс можно проводить периодически или непрерывно. Он может быть холодным (при температуре 10—21°) или горячим (при температуре 100°).

В практике умягчения при городском водоснабжении чаще применяется непрерывный холодный процесс. Для промышленных целей можно использовать периодический процесс, а если умягченная вода должна подогреваться, например при обработке воды для питания котлов, более экономичен горячий процесс. Кипячение уменьшает карбонатную жесткость, вследствие удаления углекислоты и осаждения нерастворимых карбонатов. Для полного умягчения воды, используемой для питания котла, требуется дополнительная добавка химикалий, поэтому стоимость такого умягчения может быть больше, чем стоимость умягчения воды городского водопровода.

**5. Химия известково-содового способа умягчения.** При добавке к жесткой воде извести происходят следующие типичные реакции:

<sup>1</sup> См. „Manual of British Water Supply Practice“, Institution of Water Engineers, 1950.



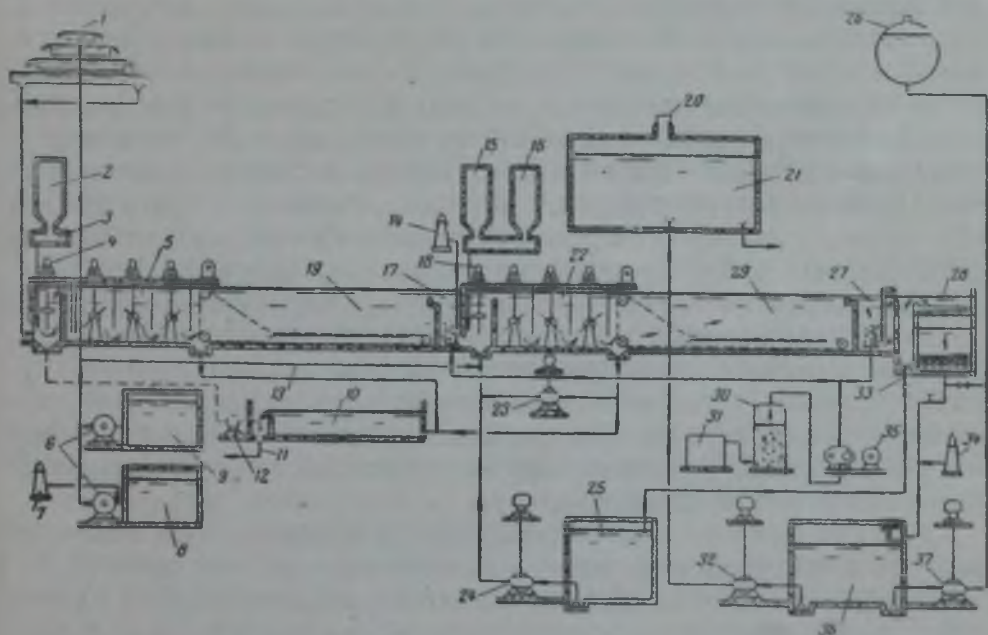
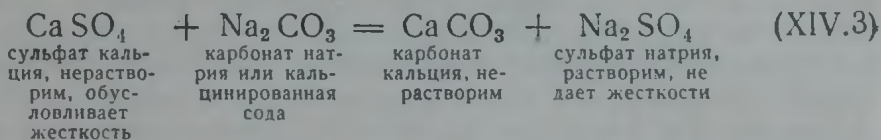
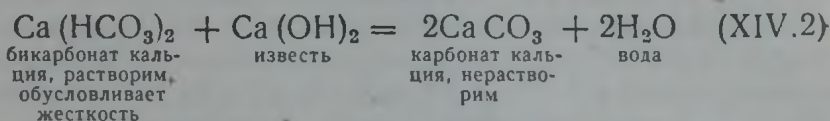
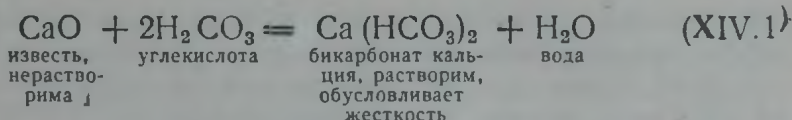


Рис. 128. Схема движения воды в городской умягчительной установке в Энн Арбор, шт. Мичиган (из Н. Е. McEntee, J. A. W. W. A., September, 1940, p. 1602)

1 — аэратор; 2 — известь; 3 — гаситель извести; 4 — первое быстрое смешение; 5 — первичный флокулятор; 6 — насосы высокого давления; 7 — предварительный хлоратор; 8 — из аварийного источника Хьюрон Ривер; 9 — подземная вода из водопроводных устройств ферм в Бартоне, Монтгомери и Стире; 10 — резервуар для высушивания осадка; 11 — выпуск; 12 — будущий насос для возврата обработанной воды; 13 — около 25°, необработанной воды смешивается с обработанной водой; 14 — хлоратор; 15 — кальцинированная сода; 16 — уголь; 17 — вторичное быстрое смешение; 18 — первичная карбонизация; 19 — первичный отстойник; 20 — вентиляционное отверстие; 21 — резервуар профильтрованной воды емкостью 22 600 м<sup>3</sup>; 22 — вторичный флокулятор; 23 — насос для возврата осадка; 24 — илосос для возврата промывной воды; 25 — резервуар для сбора промывной воды; 26 — резервуар промывной воды емкостью 190 м<sup>3</sup>; 27 — вторичная карбонизация; 28 — фильтры; 29 — вторичный отстойник; 30 — скруббер; 31 — коксовая печь; 32 — насосы фильтрованной воды; 33 — выпуск промывной воды; 34 — аммонизатор; 35 — вентилятор для подачи углекислого газа; 36 — резервуар профильтрованной воды; 37 — насос промывной воды

Реакции (XIV.1 и XIV.2) отражают естественные условия, которые делают жесткой природную воду. Карбонат кальция извести растворяется водой, содержащей растворенную углекислоту.

Реакция (XIV.3) происходит тогда, когда сульфатная жесткость удаляется при добавлении кальцинированной соды.

В процессе удаления сульфатной и карбонатной жесткости обычно за реакцией (XIV.3) следует реакция (XIV.2).

Необходимое количество извести и карбоната натрия для завершения этих реакций зависит от количества кальция и магния, растворенных в воде, и от таких факторов, как температура, рециркуляция осадка, тщательность перемешивания и продолжительность контакта. Необходимое количество химикалий можно приблизительно определить с помощью стехеометрических вычислений<sup>1</sup>. Точно требуемое количество определить невозможно из-за присутствия в воде других веществ. Для выражения необходимых количеств извести и кальцинированной соды предложены различные эмпирические формулы, основанные на стехеометрических принципах<sup>2</sup>. Колдуэлл и Лоренс<sup>3</sup> описывают графический метод определения количества химикалий, требуемых для умягчения и обработки воды, основанный на равновесии pH, щелочности и содержании магния и кальция. Ларсон и Бусуэлл<sup>4</sup> доказали, что остаточная жесткость, равная приблизительно 0,40—0,55 мг-экв/л является теоретическим минимумом, до которого жесткость может быть уменьшена с помощью холодного процесса при использовании только извести и кальцинированной соды.

Холодный известково-содовый процесс умягчения воды не может обеспечить жесткость менее 1,6—2,0 мг-экв/л. В спиракторе (патентованном механизме) используется холодный известково-содовый процесс в сочетании с движением воды вверх через взвешенный фильтр из осадка кальция и карбоната, в результате чего<sup>5</sup> общая жесткость воды составляет 1—1,4 мг-экв/л.

**6. Применяемые химикалии.** Для умягчения воды можно применять гашеную или негашеную известь: выбор зависит от имеющегося в наличии оборудования для химикалий и от их относительной стоимости.

В продажной гашеной и негашеной извести содержится 90% чистой извести с главными примесями в виде карбоната кальция и кремнезема. Гашеную известь лучше хранить и для нее не требуется оборудования для гашения. Однако негашеная известь занимает меньший объем, и стоимость ее на единицу веса окиси кальция меньше, чем гашеной, вследствие чего она более экономична для больших установок.

<sup>1</sup> См. также С. Р. Hoover, Natl. Lime Assoc., Bull. 211, 1934.

<sup>2</sup> См. Alkalies and Chlorine in the Treatment of Municipal and Industrial Water, Solvay Tech. Eng. Service, Tech. Bull. 8, 1941.

<sup>3</sup> D. H. Caldwell and W. B. Lawrence, „Solution of Water Softening and Water Conditioning Problems by Chemical Equilibrium Methods“, presented before American Chemical Society, Sept. 7, 1948.

<sup>4</sup> C. C. Larson and A. M. Buswell, Ind. Eng. Chem., January, 1940, p. 130.

<sup>5</sup> „Water Conditioning Handbook“, p. 14/1, the Permutit Co., 1949.

Лучше готовить хорошо перемешанное известковое молоко вместо известковой воды ввиду относительно большого объема известковой воды, необходимого для добавления соответствующей дозы извести. Однако при применении известкового молока некоторым затруднением является непрерывное перемешивание, необходимое для предотвращения выпадения осадка в резервуарах и в трубах. Для подачи известкового молока предпочтительнее применять желоба с легко снимаемым покрытием или резиновый шланг, который можно надавливать и сгибать для удаления образовавшихся пробок. Ввиду высокой температуры при гашении извести должна быть обеспечена вытяжная вентиляция рабочего места для удаления паров.

При гашении извести для получения известкового молока необходимой консистенции требуется около 3—5 кг воды на 1 кг извести. Негашенная известь после дробления ее до размеров, удобных для перевозки с помощью имеющегося оборудования, подается в крытое гасильное устройство, в котором происходит ее гашение при температуре около 93° в течение 15—20 мин., необходимых для завершения реакции; во время гашения известковое молоко тщательно перемешивается.

Обычно не имеет значения, подаются ли известь и кальцинированная сода вместе или раздельно. Химикалии можно дозировать по объему или по весу с помощью сухих дозаторов.

На практике раствор извести и кальцинированной соды готовят в количестве, достаточном для работы в течение 8 час. (одной смены). Растворы не должны содержать более 5% активного вещества, потому что при больших концентрациях снижается точность дозирования, хотя на практике применяют обычно 10%-ный раствор известкового молока.

Передозирование извести и кальцинированной соды нежелательно ввиду возможности остаточной щелочности, которая оказывает неблагоприятное физиологическое влияние на потребителя. Поэтому желательно, чтобы увеличившаяся щелочность в результате обработки не превышала жесткость более чем на 0,7 мг-экв/л, фенолфталеиновая щелочность — не более чем на 0,3 мг-экв/л плюс 0,01 мг-экв/л общей щелочности и обычная карбонатная щелочность — не более чем на 2,4 мг-экв/л.

**7. Горячий способ умягчения воды.** Горячий способ умягчения воды применяется главным образом при подготовке питательной воды для котлов и для таких производств, где желательна мягкая горячая вода. В горячей воде реакции умягчения происходят более быстро и требуется меньшее количество химикалий. Умягчители по горячему способу обычно изготавливаются на заводах. Схема установки горячего умягчения показана на рис. 129.

**8. Отстойные бассейны.** Ввиду относительно большого количества осадка, образующегося в процессе умягчения, часто применяют отстойные бассейны с механизированным непрерывным

удалением осадка. Один из таких бассейнов, обычно называемый осветлителем, показан на рис. 130. Продолжительность отстаивания принимают от 2 до 4 час.

Патентованные механизмы такие, как акселератор<sup>1</sup>, изображенный на рис. 101, выполняют одновременно функции смешения

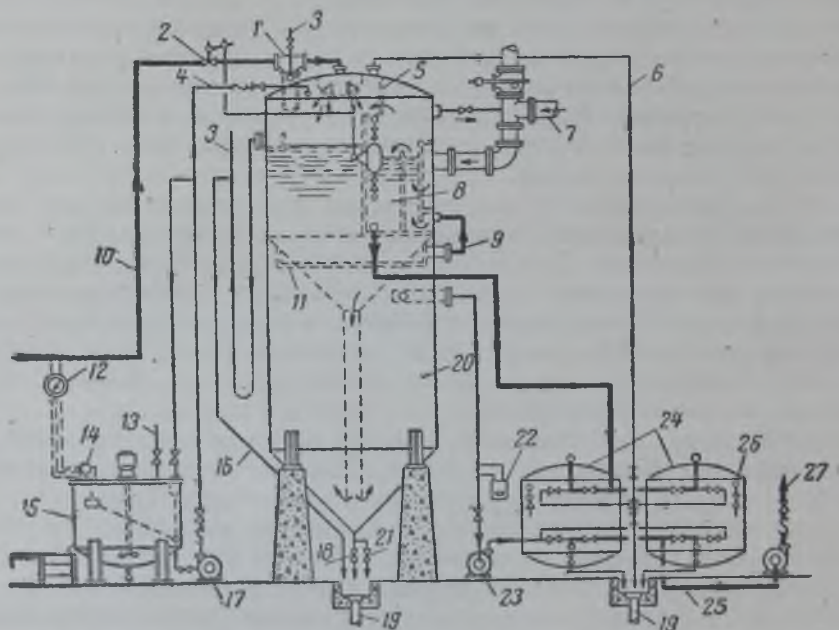


Рис. 129. Известково-содовая умягчительная установка Пермутит типа „BD“ (по материалам фирмы Permutit Co)

1 — вентиляторный конденсатор; 2 — впускная задвижка; 3 — воздушная трубка; 4 — подача реагента; 5 — паровая вентиляция; 6 — промывная вода; 7 — впуск пара; 8 — резервуар деаэрированной воды; 9 — деаэратор; 10 — подача сырой воды; 11 — желоб; 12 — измерительный прибор; 13 — наполнительная трубка; 14 — электроконтроль за подачей реагента; 15 — резервуар для раствора реагента; 16 — водослив; 17 — насос для раствора реагента; 18 — иловая задвижка; 19 — в канализацию; 20 — отстойник; 21 — непрерывная продувка; 22 — индикатор расхода; 23 — промывной насос; 24 — фильтры; 25 — выпуск профильтрованной аэрированной воды; 26 — поверхностная промывка; 27 — в котел

и отстаивания. Смешение происходит во внутреннем конусе, который снабжен механическим перемешивающим приспособлением, где вода находится около 30 мин. После смешения вода проходит через кольцевую щель между внутренним и наружным конусами и далее со скоростью<sup>2</sup> 1,3—2,4 м/час через слой взвешенного осадка, выполняющего роль поглощающей среды и способствующего

<sup>1</sup> См. также The Permutit (Spaulding) Precipitator, J. A. W. W. A. November, 1937, p. 1697.

<sup>2</sup> См. Alkalies and Chlorine in the Treatment of Municipal and Industrial Water, Solvay. Tech. Eng. Service, Tech. Bull, 8, 1941.



осветлению воды. Осадок удаляется непрерывно с небольшой скоростью, чтобы не был нарушен слой взвешенного осадка.

**9. Рекарбонизация.** Добавление извести к воде уменьшает показатель<sup>1</sup> карбонатного насыщения и увеличивает тенденцию

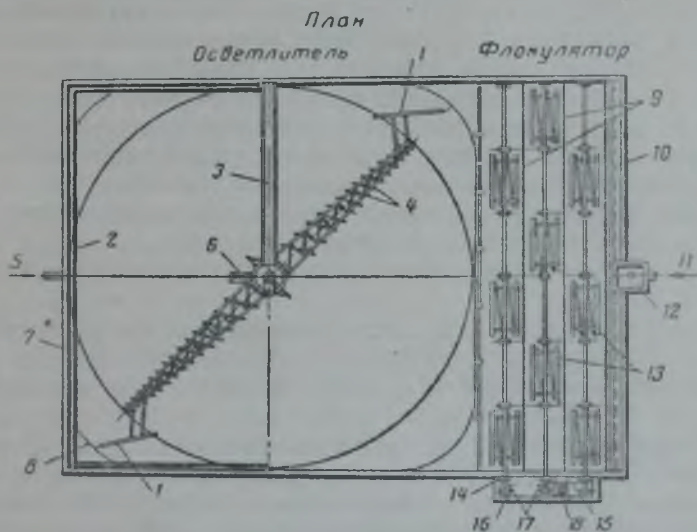


Рис. 130. Осветлитель и флокулятор (по материалам фирмы Dorr Co)

1 — угловые скребки; 2 — водослив; 3 — мостики; 4 — скребки; 5 — выпускная труба; 6 — приемок для осадка; 7 — выпускной желоб; 8 — направляющая плоскость; 9 — перегородка; 10 — подводящий канал; 11 — подводящая труба; 12 — камера быстрого смешения; 13 — лопасти; 14 — сальник; 15 — цепь; 16 — «сухая» камера; 17 — шестерня; 18 — электродвигатель с зубчатой передачей; 19 — скребковая ферма; 20 — диффузор; 21 — поручни; 22 — бетонная опора; 23 — каркас; 24 — уровень воды; 25 — выпуск осадка

отложения карбоната кальция на песке фильтра, в трубах, в трубах котла и т. д. Карбонатный баланс может быть частично или полностью восстановлен при рекарбонизации воды<sup>2</sup>. Рекарбониза-

<sup>1</sup> См. также пп. 23 и 24 главы XVI.

<sup>2</sup> См. также С. Н. Spaulding, Eng. News-Record, June 8, 1933, p. 747; С. Р. Hoover, Ind. Eng. Chem., vol. 19, 1927, p. 784.



цию можно осуществить путем продувания углекислоты через воду, путем подводного сжигания газа<sup>1</sup>, путем применения сухого льда<sup>2</sup> или, наконец, путем применения углекислоты<sup>3</sup>.

Если применяется продувание углекислоты, ее можно получить после очистки в скрубберах из дымовых газов или путем продувания воздуха через коксовую или антрацитовую горелку, работающую под давлением, причем все газы сгорания поступают в камеру рекарбонизации без очистки в скрубберах. При этом нагретая вода из холодильной рубашки генератора может быть использована для различных полезных целей, например для отопления здания. Для полного сгорания следует обеспечить соответствующее количество кислорода, так как в противном случае вместо углекислоты можно получить<sup>4</sup> окись углерода.

Газ можно вводить после того, как вода прошла через отстойные бассейны.

Требуемый объем углекислоты вычисляется по уравнению



Рекарбонизацию не следует проводить при  $\text{pH}=9,7-9,2$  во избежание повторного растворения осевших карбонатов и образования коллоидного осадка карбоната кальция. Хотя вода при  $\text{pH}$  выше  $9,2-9,7$  может давать твердый осадок, ее предпочитают воде коррозионной.

Максимальное количество углекислоты для рекарбонизации не должно превышать  $60 \text{ мг/л}$  обработанной воды.

Следует предусмотреть отстаивание до и после рекарбонизации для удаления взвешенных веществ, образующихся при умягчении, и любых других веществ, образующихся при нейтрализации избыточной щелочи ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) углекислотой. Однако отстаивание после рекарбонизации обычно не применяют.

**10. Удаление осадка.** Удаление осадка, образующегося в большом количестве при известково-содовом умягчении, представляет собой серьезную проблему<sup>5</sup>.

Возможны многие способы удаления осадка:

1) выпуск в водоем при условии достаточного разбавления и такой скорости течения воды, при которой не происходит отложения ила;

<sup>1</sup> См. также L. H. Scott and F. C. Abbott, Water Works & Sewerage, October, 1939; L. H. Scott J. A. W. W. A., January, 1940, p. 93.

<sup>2</sup> См. также A. F. Mellen, там же, Sewerage February, 1950, p. 204.

<sup>3</sup> См. также Mellen Water Works & Sewerage, February, 1950, p. 204, Harry Stock, Eng. News-Record, Apr. 29, 1948, p. 107.

<sup>4</sup> См. также R. D. Schaefer, Water & Sewage Works, July, 1952, p. 266.

<sup>5</sup> См. также Committee Report, J. A. W. W. A., December, 1947, p. 1211, H. V. Pederson, Am. City, May, 1948, p. 86; B. H. Swab, J. A. W. W. A., April, 1948, p. 461; C. F. Wertz, Eng. News-Record, July 8, 1948, p. 113.

2) временные водохранилища, откуда осадок выпускается в водоем во время паводков;

3) заполнение естественных углублений или котлованов;

4) выпуск в городскую канализационную сеть для отвода на очистную станцию;

5) высушивание осадка и использование его для удобрения;

6) повторный обжиг для получения извести<sup>1</sup>;

7) использование в качестве наполнителя для краски.

**11. Рабочие приемы.** Можно достигнуть большей экономии и лучших результатов, используя различные приемы во время работы, объединяющие или частично изменяющие обычные стадии процесса умягчения воды. К этим приемам относятся:

1) применение избыточного количества извести;

2) применение соединений алюминия или железа;

3) рециркуляция осадка;

4) умягчение только части воды;

5) объединение известково-содового и цеолитового способов.

Добавка дополнительно извести в количестве 34—52 мг/л, а затем достаточного количества кальцинированной соды для взаимодействия с некарбонатной жесткостью и избытком извести способствуют почти полному осаждению магния. Присутствие избыточного количества извести можно определить путем анализа на щелочность. Если фенолфталеиновая щелочность равна половине метилоранжевой щелочности, то вода обладает только обычной карбонатной щелочностью. Если фенолфталеиновая щелочность больше половины метилоранжевой щелочности, то в воде содержится гидратная щелочность или имеется избыток извести.

Иногда в воду добавляют соединения алюминия для коагуляции мелкой взвеси, сокращая таким образом продолжительность реакции и период осаждения. Используются сернокислый алюминий дозой 9—18 мг/л и алюминат натрия 9 мг/л. Вместо сернокислого алюминия можно применять железный купорос. Применение сернокислого алюминия несколько увеличивает сульфатную жесткость, что требует дополнительного количества кальцинированной соды. Практически уменьшение жесткости путем добавки алюмината натрия может быть большим, чем определяемое расчетом, возможно, вследствие избыточного количества ОН—ионов при гидролизе алюмината натрия в гидроокись алюминия.

На многих установках успешно применялась рециркуляция одного осадка от умягчения воды или в сочетании с мелким нерастворимым соединением, таким как отбельная глина, добавляемая в воду вместе с известковым молоком<sup>2</sup>. Количество возвращенного

<sup>1</sup> См. также A. P. Black, and others, Water Works Eng., March, 1951, p. 227.

<sup>2</sup> См. также C. P. Hoover, Rept, 8 th Ann. Water Works School Univ. Kansas, 1930.

осадка должно быть достаточным для поддержания около 10 000 мг/л взвешенных частиц в смесительной камере, но точное количество для любой данной установки следует определять практически. Этот способ оказался особенно успешным, когда бикарбонат был изменен на обычный карбонат, магний оседал в виде гидроокиси магния и избыток негашеной извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  нейтрализовался в карбонат. Рециркуляция осадка может быть соединена с обработкой избыточным количеством извести.

После рециркуляции выпускаемая вода имеет жесткость 1,0—1,4 мг-экв/л приблизительно на 0,6 мг-экв/л меньше, чем было бы получено без рециркуляции. Спиратор<sup>1</sup> (патентованный механизм) умягчает воду до 1,0—1,4 мг-экв/л при холодном известковом процессе и продолжительности пребывания в нем воды 6—12 мин. (вместо 4 час. при обычном холодном известковом процессе умягчения воды без рециркуляции осадка и вместо 1 час. — с рециркуляцией). В некоторых случаях оказывается желательным и экономичным умягчение части воды ниже требуемых пределов и последующее смешение ее с частью неумягченной, сырой, воды для получения желательной жесткости. Этот способ известен как «раздельная обработка» («split treatment»).

Может оказаться экономичным, особенно при сульфатной жесткости, сочетание известково-содового процесса с цеолитовым процессом. В этом случае сначала удаляется карбонатная жесткость путем обработки известью. Затем вода рекарбонизируется для предотвращения выпадения твердого осадка ионообменного материала и вода пропускается через катионитовый фильтр для удаления сульфатной жесткости. Таким способом вода может быть умягчена до 0.

**12. Умягчительная установка.** Оборудование для небольших установок изготавливается по специальным стандартам, установленным изготовителями оборудования. В 1945 г. Олсон<sup>2</sup> сообщил, что стоимость умягчительных установок пропускной способностью до 1 млн. галл/сутки составляет 75 000 долларов на 1 млн. галл/сутки; установок пропускной способностью 3—4 млн. галл 50 000—155 000 долларов на 1 млн. галл/сутки и установок пропускной способностью 5—50 млн. галл. — 25 000 долларов на 1 млн. галл/сутки.

Небольшая типовая умягчительная установка показана на рис. 128\*. Такая установка пропускной способностью 950 м<sup>3</sup>/сутки состоит из смесительного резервуара размером 1,2×7,5 м в плане и глубиной 3,6 м; смешение производится лопастями, вращающимися на горизонтальном валу, расположенном под прямым углом к направлению течения воды; отстойного бассейна размером 7,5×7,5×3,6 м, оборудованного механизмом для непрерыв-

<sup>1</sup> „Water Conditioning“, the Permutit Co., 1943.

<sup>2</sup> H. M. Olson, J. A. W. W. A., October, 1945, p. 1002.

\* См. также С. Р. Hoover, Water Works Eng., May 26, 1937, p. 734.

ного удаления осадка; рекарбонизационного резервуара размером  $0,6 \times 7,5 \times 2,4$  м, оборудованного перфорированными трубками для ввода углекислого газа; дополнительного рекарбонизационного резервуара размером  $1,5 \times 1,5$  м и глубиной 1,5 м, который выполняет также роль резервуара чистой воды.

На небольших умягчительных установках особенно важен точный химический контроль ввиду большой возможности ошибок при дозировании реагентов.

Точный контроль достигается применением автоматических пропорциональных дозаторов.

**13. Обменные катионы и анионы<sup>1</sup>.** Ионо-обменные материалы представляют собой вещества, настолько слабо связанные в химическом отношении, что когда они попадают в раствор большей ионной концентрации, катионы, находящиеся в растворе, будут вступать в обмен с катионами, а анионы с анионами, которыми заряжены ионо-обменные материалы. К новым синтетическим смолам<sup>2</sup>, пригодным для обработки воды, относятся катионо-обменные смолы (катиониты) слабо и сильно кислотные растворы и анионо-обменные материалы (аниониты) слабо и сильно основных типов, высокой пористости. Ионо-обменные вещества известны под названием цеолитов, но в руководстве по проведению испытаний 1949 г. Американская водопроводная ассоциация рекомендует термины катионо-обменные материалы (катиониты) или анионо-обменные материалы (аниониты).

Катионо-обменные материалы разделяются на неорганические или гидратированные натриево-алюминиевые силикаты, глауконит — песок, получаемый непосредственно из карьера, сульфинированные угли и синтетические смолы.

К последним относятся фенол-формальдегиды, сульфинированные полистироловые смолы и катионо-обменные смолы карбоксильного типа.

Неорганические гелевые цеолиты обычно используются в домашних умягчителях воды и в некоторых городских установках. Широко применяются глаукониты (пески из карьера) и синтетический фирменный цеолит, известный под названием пермутит. Пермутит ( $\text{NaAlSiO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) представляет собой искусственный натриевый цеолит, который обменивает натрий на кальций. Он запатентован, как и многие другие фирменные цеолиты. По внешнему виду пермутит похож на песок с твердыми, блестящими зернами одинакового размера. Он поглощает влагу из воздуха, и поэ-

<sup>1</sup> См. также L. Streicher, J.A.W.W.A., November, 1947, p. 1133 с библиографией; A. S. Behrman, Ion Exchange Materials, Conference on Water Resources, Illinois State Water Survey, Bull. 41, 1952, p. 175; Water Quality and Treatment, A. W. W. A., Manual, 1952, p. 344 ff; Standard Manual of Cation Exchange Test Procedures, J. A. W. W. A., May, 1949, p. 451; M. P. Robinson, Water & Sewage Works, April, 1952, p. 152; J. Thompson and F. X. McGarvey, J. A. W. W. A., April, 1953, p. 145.

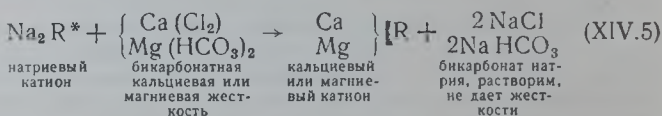
<sup>2</sup> См. также Thompson and McGarvey, см. пред. сноску.

тому его следует сохранять в сухом месте. Синтетические цеолиты применяются для умягчения воды в домашних и городских установках, хотя в последних они вытесняются высокопроизводительными органическими материалами. Процесс обмена металлических ионов растворенных в воде солей на Н-ионы катионита называется деминерализацией воды [61]. Он применяется главным образом для промышленного водоснабжения и для лабораторных процессов, хотя может быть применим и для городского умягчения. Следует отметить, что умягчение с применением содово-натриевого катионита дает увеличение растворенных твердых веществ в умягченной воде.

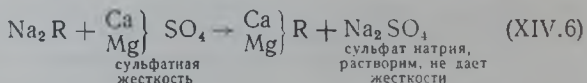
Анионо-обменные материалы представляют собой синтетические смолы, обменная способность которых обуславливается наличием основных азотных групп. Материалы эти следующие: синтетические смолы средней обменной способности: гуанидино-меламино-формальдегидного типа; высоко-обменные слабо-основные синтетические смолы (продукты полиамино-альдегидной конденсации); сильно основные синтетические смолы.

Анионитовые материалы применяются главным образом при умягчении производственной воды. Высоко-обменные слабо-основные синтетические смолы эффективны при удалении сильных кислот, таких как серная или соляная, но мало эффективны при удалении слабых кислот, таких как уголекислота или кремнекислота. Эти синтетические смолы обычно используются на деионизационных установках. Сильные основные кислоты эффективны при удалении слабых кислот.

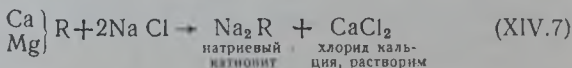
**14. Химия катионного обмена.** Реакции, которые происходят при обменном процессе умягчения, деминерализации и регенерации с обменными катионами, можно выразить следующим образом. Умягчение:



Умягчение:



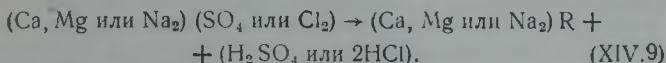
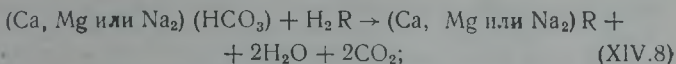
Регенерация:



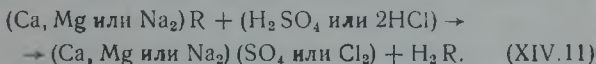
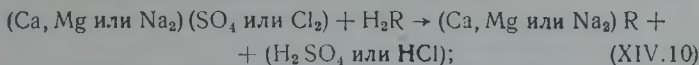
\* Органический обменный компонент.



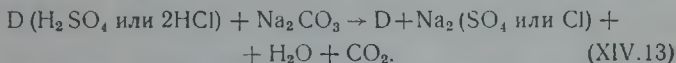
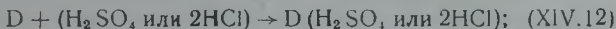
Обмен ионов металла на Н-катионы:



Регенерация Н-катионита



Адсорбция избытка кислоты De-асидитом (D) (патентованным веществом), регенерирующим с карбонатом натрия:



**15. Характеристика катионо-обменных материалов.** К числу положительных свойств обменных материалов относятся:

1) высокая обменная способность, благодаря чему значительно уменьшаются размеры требуемого оборудования;

2) устойчивость против агрессивного воздействия обрабатываемой воды;

3) безопасность при перегрузках;

4) небольшой расход соли при регенерации;

5) низкая стоимость;

6) отсутствие потерь при отмывке;

7) независимость действия катионита от мутности, содержания железа, марганца или других веществ, не обуславливающих жесткость обрабатываемой воды;

8) подходящий размер зерен: они должны быть не такие мелкие, чтобы вызвать слишком большую потерю напора при работе или обратной промывке, и не такие крупные, чтобы заметно уменьшать эффективность обмена.

Глаукониты, т. е. естественные пески, обычно имеют более низкую обменную способность, они более грубы, чем синтетические обменные материалы. В домашних установках, где расходуеться небольшое количество материала, по сравнению с промышленными и городскими установками очень выгодно применение синтетических обменных материалов.

Если умягчаемая вода не обрабатывается до умягчения, то желательнее применение стабилизированных естественных песков, так как на их эффективность меньше влияет мутность воды, а также присутствие железа или других посторонних веществ. Однако,

вследствие относительно низкой обменной способности естественных песков, может потребоваться слишком громоздкое оборудование. В синтетических обменных материалах обменная способность и устойчивость против агрессивного действия воды зависит от их химического состава. Состав таких материалов обычно выражается как отношение  $\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ .

Так, при отношении 1 : 1 : 6 содержится 1 граммолекула  $\text{Na}_2\text{O}$ , 1 граммолекула  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 6 граммолекул  $\text{SiO}_2$ . Большинство синтетических материалов имеют отношения 1 : 1 : 4 и 1 : 1 : 15.

Вообще, при прочих равных условиях увеличение содержания  $\text{SiO}_2$  уменьшает обменную способность материала, но увеличивает его устойчивость против агрессивного действия воды. Способы определения обменной способности описаны в руководстве, опубликованном Американской водопроводной ассоциацией<sup>1</sup>.

**16. Обменная способность и свойства ионо-обменных материалов.** Обменная способность материалов измеряется в гранах карбоната кальция или его эквивалента на 1 фут<sup>3</sup> обменного материала (в *г-эquiv* поглощенной жесткости на 1 м<sup>3</sup>) разбухшего в воде катионита или нонита. Обменная способность глауконита составляет 2 500—3 000 гранов на 1 фут<sup>3</sup> (115—140 *г-эquiv/м<sup>3</sup>*); гелевых цеолитов — 5 000—12 000 гранов (230—560 *г-эquiv/м<sup>3</sup>*); сульфинированных углей — 7 000—10 000 гранов (320—450 *г-эquiv/м<sup>3</sup>*), катионо-обменных синтетических смол: низкая — 7 000—10 000 гранов (320—450 *г-эquiv/м<sup>3</sup>*), средняя 12 000—15 000 гранов (560—700 *г-эquiv/м<sup>3</sup>*) и высокая 25 000—35 000 гранов (1 140—1 600 *г-эquiv/м<sup>3</sup>*); анионо-обменных: средняя 15 000—20 000 гранов (700—900 *г-эquiv/м<sup>3</sup>*) и высокая 25 000—35 000 гранов (1 140—1 600 *г-эquiv/м<sup>3</sup>*).

Глауконит представляет собой зеленовато-черные круглые зерна, подобно мелкому песку, весом около 1 250 кг/м<sup>3</sup>. Они устойчивы против агрессивного действия воды. Синтетический цеолит, получаемый мокрым способом, представляет собой бледно-серые зерна диаметром около 0,3—0,5 мм. Вес его около 800 кг/м<sup>3</sup>. Он пористый, относительно легко шлифуется и неустойчив против агрессивного действия воды. Сульфинированные угли представляют собой коррозиоустойчивые черные, крупные зерна.

Обменная способность катионитовых обменных материалов в отношении удаления карбоната кальция зависит до некоторой степени от количества хлористого натрия, расходуемого на регенерацию единицы объема обменного материала. Обменная способность увеличивается с увеличением количества соли до максимального предела. Обменная способность этих материалов в отношении удаления магниевой жесткости несколько меньше, чем в отношении удаления кальциевой жесткости: обменная способ-

<sup>1</sup> См. J. A. W. W. A., vol. 35, 1943, p. 721.

ность уменьшается при исключительно жестких водах с высоким содержанием натриевых солей. Уменьшенная обменная способность может быть компенсирована путем использования большего количества хлористого натрия при регенерации.

**17. Умягчение воды городского водопровода с применением ионо-обменных материалов.** Воду с карбонатной и сульфатной жесткостью можно умягчить путем пропускания через слой натриевого катионо-обменного материала при температуре, не превышающей  $38^{\circ}$ , так как более высокая температура вредно действует на обменный материал. Умягчение достигает почти нуля. В городской практике умягчают только часть воды, доводя жесткость ее до нуля, а затем смешивают ее с неумягченной водой с таким расчетом, чтобы окончательная жесткость обработанной воды составляла около  $1,0\text{--}2,0$  мг-экв/л. При недостатке обменного материала проводится регенерация его хлористым натрием. Благодаря регенерации обменные материалы можно использовать почти неограниченно, без добавки их, при правильном ведении процесса. При хорошей работе потери обменного материала составляют не более 5%.

**18. Контроль за катионо-обменным умягчением.** При умягчении воды до нулевой жесткости путем катионного обмена необходим контроль за рН и содержанием карбоната кальция, чтобы вода не стала коррозионной по отношению к железу.

Недосыщение карбонатом кальция приводит к коррозии, а перенасыщение вызывает накипь.

Существует прибор, действующий посредством мыльной пробы, который сигнализирует, когда обрабатываемая вода приобрела заранее установленную допускаемую максимальную жесткость.

Коррозионность и нестабильность горячей умягченной воды могут быть настолько сильными, что трубы и оборудование будут быстро разрушаться, если вода не нейтрализована. Таким образом, неправильное применение катионо-обменных материалов при умягчении горячей воды может дать нежелательные последствия.

**19. Обработка производственных вод.** Наиболее важным применением умягченной воды в промышленности является питание котлов. К сожалению, при обработке воды катионитовым обменным материалом в ней увеличивается количество растворенных солей по сравнению с сырой водой. Это затруднение можно преодолеть путем деминерализации и применения анионитовых обменных материалов. Сильно основные синтетические смолы особенно эффективны при удалении кремнезема из воды, т. е. вещества, дающего наиболее нежелательную накипь.

**20. Пределы применения ионо-обменного умягчения.** Умягчение сырой воды при жесткости выше  $18\text{--}20$  мг-экв/л способом катионного обмена неэкономично вследствие больших размеров умягчителя, а также большого расхода соли и промывной воды.

Сырую воду, содержащую большое количество взвешенных веществ, растворенное железо или марганец, а также большое количество некоторых солей, в частности хлоридов, или других веществ, оказывающих вредное влияние на обменный материал, следует обрабатывать перед умягчением. Необходимо подчеркнуть, что умягчитель не является фильтром, и его нельзя использовать

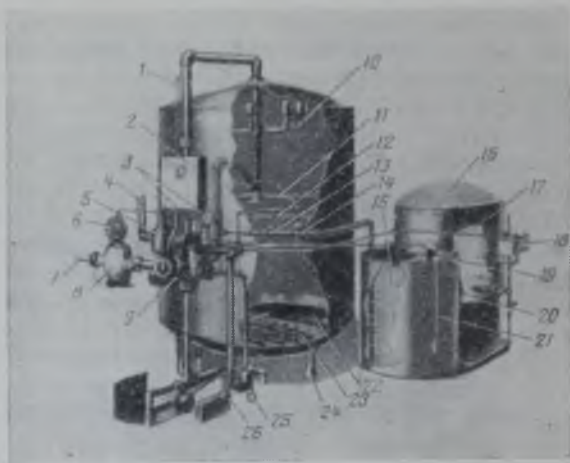


Рис. 131. Автоматический катионитовый умягчитель (по материалам фирмы Permutit Co)

1 — воздухоотделитель; 2 — контрольная коробка; 3 — манометры; 4 — подача неумягченной воды; 5 — электродвигатель; 6 — водомер и контактный механизм; 7 — выход умягченной воды; 8 — водомер; 9 — автоматический многопроходный клапан; 10 — коллектор промывной воды; 11 — распределительная система для соляного раствора; 12 — катионит; 13 — обратный клапан; 14 — диафрагмовый клапан; 15 — соляной раствор; 16 — соль; 17 — резервуар для хранения соли; 18 — коробка постоянного напора с поплавком; 19 — поплавковый выключатель; 20 — гравий; 21 — измерительный резервуар для раствора соли; 22 — промытый и отсортированный гравий; 23 — распределитель промывной воды; 24 — регулируемые на винтах опоры; 25 — регулятор интенсивности отмывки; 26 — регулятор интенсивности промывки

для фильтрования воды. Вода с температурой свыше  $38^{\circ}$  оказывает вредное влияние на обменные материалы.

При удалении соединений кальция и магния и уменьшении жесткости до незначительной величины иногда получается коррозионная вода, что требует последующего регулирования рН во избежание коррозии.

**21. Устройство умягчителя.** Умягчители воды по способу катионного обмена, применяемые в практике городского и промышленного водоснабжения, похожи на скорые песчаные фильтры самотечного или напорного типа. Умягчитель напорного типа показан на рис. 131, а самотечного — на рис. 132. Слой цеолита, показанный на рисунке, может иметь толщину 750—1900 мм.

Чаще встречается меньшая толщина. Вода может проходить через слой цеолита снизу вверх или сверху вниз: чаще применяют умягчители с проходом воды сверху вниз, так как в этом случае меньше потеря материала и лучше фильтрующее действие слоя. Умягчитель напорного типа чаще применяется в промышленных и небольших городских установках. Такие умягчители иногда оборудованы автоматическим управлением регенерацией, т. е. регенерация происходит автоматически в установленные

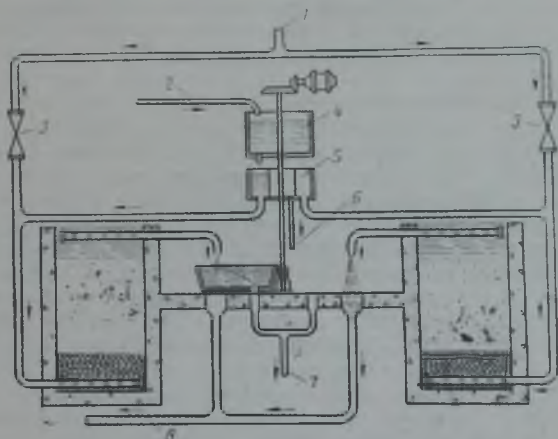


Рис. 132. Автоматический катионитовый умягчитель самотечного типа (J. A. W. W. A., September, 1932. p. 1384)

1 — подача неумягченной воды; 2 — от резервуара с соляным раствором; 3 — регулятор расхода воды; 4 — бак с соляным раствором; 5 — приемник соляного раствора; 6 — перелив в резервуар для соляного раствора; 7 — выпуск в канализацию; 8 — умягченная вода

периоды времени или в зависимости от количества умягчаемой воды.

**22. Объем ионообменных материалов.** Объем обменных материалов может быть определен из следующего выражения

$$E = \frac{KQH}{G}, \quad (\text{XIV.14})$$

где  $E$  — объем обменного материала в фут<sup>3</sup>;

$Q$  — объем обрабатываемой воды между регенерациями в фут<sup>3</sup>;

$H$  — жесткость воды в гранах/галлон;

$G$  — жесткость, которую следует удалить между регенерациями единицей объема обменного материала в гранах на фут<sup>3</sup>;

$K = 0,133$  — коэффициент размерности при принятых единицах измерения.



Как видно из выражения, требуемый объем обменного материала находится в прямой зависимости от объема умягченной воды между регенерациями. Чем чаще производится регенерация, тем меньшего размера требуется умягчитель, тем ниже его первоначальная стоимость, но тем большее внимание требуется при его эксплуатации. Автоматические умягчители для городских и промышленных установок<sup>1</sup> рассчитываются на регенерацию через каждые 2 часа или более.

Умягчители с ручным управлением для таких установок работают минимум 8 час. между регенерациями, а домашние умягчители могут работать в течение месяца или более между регенерациями.

**23. Регенерация хлористым натрием.** Жесткость воды, выходящей из умягчителя между регенерациями, постепенно увеличивается с возрастающей скоростью. Умягчители переключаются на регенерацию по установленному графику или после того, как проведено умягчение заранее определенного количества воды, или после того, как достигнута определенная степень жесткости. Первые два режима относятся к автоматическому регулированию, при последнем режиме необходимость регенерации устанавливается лабораторным анализом или посредством мыльной пробы.

Перед регенерацией должно быть произведено взрыхление (обратная промывка) умягчителя, подобное промывке скорого песчаного фильтра. При регенерации требуемое количество 5—10%-ного раствора соли подается через перфорированную дренажную систему или на поверхность фильтрующего слоя.

После определенного контакта раствор удаляют и умягчитель готов к работе. Первые порции умягчаемой воды должны быть сброшены до тех пор, пока жесткость не будет составлять менее 0,02 мг-экв/л.

Умягчитель считается хорошо отгенерированным, если содержание хлорида в первых порциях фильтрата (в первых 10%) превышает содержание хлоридов в умягчаемой воде не более чем на 10 мг/л, а в течение всего цикла оно не превышает содержания хлоридов в сырой воде.

Соль, применяемая для регенерации, должна содержать не менее 96% NaCl и не должна содержать железо, грязь, щепки и другие посторонние вещества<sup>2</sup>. Требуемое количество соли зависит от объема обменного материала, его обменной способности и требуемого количества соли на единицу (1 мг-экв) поглощенной жесткости.

Ввиду того, что стоимость соли является основной составляющей стоимости умягчения, следует стремиться к возможно меньшему ее расходованию. Требуемое количество составляет: для глауконита 22,6 кг на 1 м<sup>3</sup> обменного материала; для алюмо-

<sup>1</sup> См. также S. P. Oppenheim, J. A. W. W. A., 1934, p. 607.

<sup>2</sup> См. Standard Specifications, там же, March, 1950, p. 317, December, 1951, p. 1067.

силикатного катионита, приготовленного мокрым способом,  $64-128 \text{ кг/м}^3$ , а приготовленного плавлением  $64 \text{ кг/м}^3$ ; для глин  $64 \text{ кг/м}^3$ . Ни в коем случае это количество не должно превышать  $96 \text{ кг/м}^3$ .

Независимо от используемого обменного материала расход соли составляет около  $\frac{1}{2}$  фунта на 1 000 гранов удаленной жесткости ( $175 \text{ г}$  на  $1 \text{ г-экв}$ ) при минимальном пределе  $0,2$  фунта на 1 000 гранов ( $70 \text{ г}$  на  $1 \text{ г-экв}$ )<sup>1</sup>. Соль можно сохранять в «мокроем состоянии», т. е. в виде насыщенного рассола, содержащего около 25% NaCl, в железобетонных резервуарах, покрытых солеустойчивой краской, такой как инертол или акрон.

Требуемое количество соли можно вычислить следующим образом.

Пример. Допустим, что умягчитель содержит 1 000 фут<sup>3</sup> ( $28,3 \text{ м}^3$ ) цеолита и что обменная способность цеолита по удалению  $\text{CaCO}_3$  составляет 3 000 гранов/фут<sup>3</sup> ( $137 \text{ г-экв/м}^3$ ). Емкость поглощения умягчителя составит поэтому 3 000 000 гранов ( $3 877 \text{ г-экв}$ ). Если принять, что  $0,5$  фунта ( $227 \text{ г}$ ) соли требуется на 1 000 гранов поглощаемой жесткости, то для регенерации умягчителя потребуется  $3 000 \times 0,5$  или 1 500 фунтов ( $680 \text{ кг}$ ) соли. Каждый галлон ( $3,78 \text{ л}$ ) насыщенного рассола содержит  $2,479$  фунта ( $1,124 \text{ кг}$ ) соли. Следовательно, потребуется приблизительно 605 галл. ( $2287 \text{ л}$ ) насыщенного рассола, который следует разбавить до  $1 740-3 480$  галл. ( $6 580-13 150 \text{ л}$ ) для получения 5—10 %-ного раствора.

**24. Удаление отработавшего рассола<sup>2</sup>.** Серьезную проблему представляет удаление использованной промывной воды и регенерационного рассола. Рассол содержит приблизительно 35SH фунтов хлоридных ионов на 1 млн. галл., где S — количество соли в фунтах на 1 000 гранов поглощенной жесткости и H — уменьшение жесткости в  $\text{мг/л}$  в виде карбоната кальция<sup>3</sup>. При выпуске в водоем рассол может вредно действовать на рыбу<sup>4</sup>, загрязнять грунтовую воду и источники водоснабжения для хозяйственных нужд<sup>5</sup>. Обработка этих вод возможна путем испарения в прудах или разбавления в воде водоема. Они не поддаются биологической обработке.

**25. Работа умягчителя.** Катионо-обменные умягчители требуют осторожного обращения с ними при эксплуатации во избежание повреждения обменного материала, оборудования или ухудшения качества воды. Например, желательно промывать слой обменного материала один раз в несколько месяцев или один раз в год для уничтожения роста бактерий. Если умягчитель не работает, то не следует оставлять слой затопленным в течение более 10 час.; если умягчитель не работает более недели, его следует оставить без регенерации, а если применяются синтетические материалы, то его следует держать влажным, но не за-

<sup>1</sup> См. S. T. Powell, там же, November, 1937, p. 1733.

<sup>2</sup> См. Public Works, February, 1948, p. 66.

<sup>3</sup> См. также P. D. Haney, J. A. W. W. A., December, 1947, p. 1215

<sup>4</sup> См. также M. M. Ellis, U. S. Bur. Fisheries, Bull. 22, 1937.

<sup>5</sup> См. также J. A. W. W. A., September, 1949, p. 829.

топленным. Жесткость промывной воды должна быть менее 3,5 мг-экв/л.

**26. Потеря и восстановление умягчительной способности.** Потеря умягчительной способности может быть обусловлена следующими факторами:

- 1) физическими и химическими свойствами зерен умягчительного материала;
- 2) температурой сырой воды;
- 3) скоростью прохождения воды через обменный материал;
- 4) количеством используемой соли;
- 5) равномерностью распределения рассола во время регенерации.

При обычных условиях потеря обменной способности не должна превышать 5% в год в течение 3 лет. Обычно изготовители гарантируют этот срок.

Обменная способность может быть улучшена или восстановлена следующими способами:

- 1) отмывкой слабым раствором уксусной кислоты или каустической соды в зависимости от характера материала, покрывающего зерна или забивающего фильтрующий слой;
- 2) обработкой раствором едкого натра, силикатом натрия и, наконец, сернокислым алюминием;
- 3) обработкой раствором сульфата аммония;
- 4) периодическим хлорированием высокими дозами для удаления скопления бактерий<sup>1</sup>;
- 5) раздроблением и просеиванием обменного материала и отсортировкой его для использования частиц, проходящих через сито № 16 и остающихся на сите № 50.

**27. Оборудование для промывки.** При проектировании оборудования для промывки следует иметь в виду, что при промывке снизу вверх с интенсивностью 2,3—5,5 л/сек м<sup>2</sup> происходит расширение синтетических обменных материалов приблизительно на 50%, а при интенсивности 4,3 л/сек м<sup>2</sup> — расширение глауконитовых песков на 25%. Интенсивность промывки 10 л/сек м<sup>2</sup> может привести к нарушению слоя гравия, нежелательному смешению его с обменным материалом, если не предусмотрены меры для удержания его на месте. Желоба промывной воды должны быть расположены достаточно высоко над поверхностью слоя, чтобы было возможно по меньшей мере 50% расширение без уноса обменного материала.

Отверстия в дренажной системе следует принимать диаметром  $\frac{3}{16}$ " , располагая их на расстоянии 150 мм, что обеспечивает достаточную их площадь, при которой потеря напора получается около 2,4 м при интенсивности промывки 5,5 л/сек м<sup>2</sup>.

**28. Сравнение известково-содового и катионо-обменного способов умягчения.** Преимущества известково-содового умягчения:

<sup>1</sup> См. также L. Streicher, J.A.W.W.A, November, 1947, p. 1133.

1) удобен для мутных, железистых и кислотных вод, где обменный способ не применим;

2) в умягченной воде содержится меньшее общее количество взвешенных веществ, чем при обменном умягчении;

3) сравнительно прост контроль с целью предотвращения коррозии;

4) может быть более экономичным;

5) оказывает бактерицидное действие;

6) может быть лучше, чем обменный способ, для исключительно жестких вод, особенно с высокой магниевой жесткостью, и для вод с высоким содержанием натрия;

7) легко может быть применим в существующей фильтрующей установке;

8) не запатентован;

9) нет опасности потери материала.

Преимущества обменного способа:

1) не получается осадка;

2) первоначальная стоимость и эксплуатационные расходы относительно низки;

3) нет опасности содержания избыточного количества химикалий в умягченной воде;

4) не зависит от изменений качества сырой воды;

5) отсутствуют отложения в распределительной системе;

6) используемые химикалии легко транспортируются;

7) нет необходимости в высококвалифицированных рабочих;

8) возможно умягчение до любых пределов;

9) отпадает необходимость во втором подъеме в случае применения напорных умягчителей;

10) требуется небольшая площадь;

11) почти полностью автоматизирован.

**29. Сочетание известкового и катионо-обменного способов умягчения.** При благоприятных условиях экономично удалять карбонатную жесткость с помощью извести, а остаточную карбонатную и сульфатную жесткость — с помощью обменного способа. Этот процесс включает следующие стадии:

1) обработку воды достаточным количеством извести для уменьшения карбонатной жесткости с последующим коагулированием и отстаиванием для удаления осажденных карбонатов;

2) рекарбонизацию для предотвращения осаждения карбонатов и поддержания рН ниже 9,5 для предотвращения разрушения обменных материалов;

3) фильтрование, если желательно;

4) пропуск воды через катионитовый материал для получения нулевой жесткости;

5) если желательно, восстановление некоторой жесткости путем смешения с неумягченной или частично умягченной водой.

**30. Синтетические поверхностно-активные вещества<sup>1</sup>.** Синтетические поверхностно-активные вещества (детергенты), так называемые «сульфинированные нефтяные мыла», родственные им вещества, и патентованные продукты, обычно содержащие органические соединения, применяются для устранения коррозионности воды при обработке промышленной воды и воды для хозяйственного потребления, но они не применяются для умягчения воды городских водопроводов. Сульфинированные соединения дают мыльную пену в жесткой воде без образования осадка. К ним относятся метафосфат натрия ( $\text{NaPO}_3$ ), тринатрий фосфат ( $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )<sup>2</sup>, гексаметафосфат натрия ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>, называемый калгоном<sup>3</sup>, и пирофосфат натрия ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ). В паровых котлах высокого давления фосфат натрия или некоторые органические соединения могут применяться для предотвращения образования накипи. К этим соединениям относятся сульфонаты лигнина, концентрированные сульфитные щелока и множество запатентованных продуктов, некоторые из которых имеют широкое применение.

Гексаметафосфат натрия или калгон<sup>4</sup> — патентованный продукт. Это — в высшей степени гигроскопический химикалий, добавляемый в виде 25%-ного раствора в дозе около 1 мг/л. Тщательный контроль не существен<sup>5</sup>. Эти вещества используются также для предотвращения коррозионности воды, как указано в главе XVI.

---

<sup>1</sup> Task Group Report. J.A.W.W.A., August, 1954, p. 751.

<sup>2</sup> См. также June, 1950, p. 601.

<sup>3</sup> См. также K. K. Jones, там же, September, 1940, p. 1471.

<sup>4</sup> См. также Owen Rice, там же, June, 1947, p. 552.

<sup>5</sup> См. также Owen Rice, Southwest Water Works J., vol. 22, p. 21, April, 1940.



---

---

## Глава XV

### ДЕЗИНФЕКЦИЯ

**1. Способы дезинфекции.** Бактерии в воде могут быть уничтожены хлорированием, озонированием, облучением ультрафиолетовыми лучами, кипячением, добавкой извести, добавкой иода и другими способами. Однако не все микроскопические и более крупные организмы, имеющиеся в воде, могут быть удалены этими способами. Например, *Entamoeba histolytica* не удаляется обычным хлорированием. Стерилизация кипячением пригодна только для домашнего применения. Большая стоимость кипячения и охлаждения и появление в результате этого нежелательных привкусов препятствуют применению этого способа в городском водоснабжении. Дезинфекция одной известью широко не практикуется. Выяснено, что бактерии *E. coli* погибают в воде при pH более 9,5. Поэтому, если добавляется количество извести, достаточное для получения  $\text{pH} = 9,5$ , то бактерии *E. coli* уничтожаются.

**2. Хлорирование.** Применение хлора для дезинфекции воды стало всеобщим в США. Как уже сказано, хлор может не уничтожить все патогенные организмы. Он не уничтожает клетки *E. histolytica* и не эффективен в отношении некоторых микроорганизмов. Однако при обычных условиях хлорирование предотвращает развитие патогенных водных организмов.

Хлор уничтожает морские водоросли, протозоа и другие микроорганизмы. Дезинфекционный эффект хлора заметно уменьшается при увеличении pH. Это объясняется тем, что эффективным веществом при дезинфекции хлором является  $\text{HOCl}$ , которое в растворе быстро уменьшается с увеличением pH. Если, однако, в воде содержатся высшие органические вещества, с которыми хлору приходится взаимодействовать сначала, то pH воды должно быть уменьшено. Можно считать, однако, что в обычных условиях бактерицидное действие хлора больше при низких величинах pH. Авторитетные экспериментальные данные и заключения по этому вопросу можно найти в U. S. Public Health Reports (vol. 58, p. 1837; vol. 59, p. 1661 в статьях Баттерфилда и др.).

При прочих равных условиях и при  $pH=10$  следует добавлять хлора в 150 раз больше, чем при  $pH=5$ , для получения одинакового эффекта уничтожения бактерий. Бактерицидное действие хлора увеличивается особенно с увеличением температуры<sup>1</sup>.

В обычных температурных пределах питьевой воды температура мало влияет на активность хлора.

К другим условиям, которые могут повлиять на бактерицидное действие хлора, относятся содержание органических веществ и мутность<sup>2</sup>. Органические вещества и вещества, обуславливающие мутность, взаимодействуют с хлором, нейтрализуя его эффективность и предотвращая образование хлорноватистой кислоты.

Существуют следующие гипотезы, объясняющие бактерицидное действие хлора:

1) при разложении  $HOCl$  освобождается выделяющийся кислород, который и окисляет органическое вещество бактерии;

2) непосредственное действие в результате реакции свободного хлора с протоплазмой бактерии;

3) образование токсических веществ при реакции хлора с веществами внутри бактериальной клетки;

4) хлор задерживает энзимный процесс<sup>3</sup>.

Однако ни одна из этих гипотез не является общепризнанной. Гипотеза о выделении кислорода устарела, а энзимная гипотеза применялась для количественного определения хлора, как указано в п. 10 настоящей главы.

Хотя хлор применяется главным образом для уничтожения бактерий, его можно добавлять в воду также для удаления железа и марганца, для очистки песчаных фильтров, для стерилизации родопроводных труб и для других целей.

Хлор можно добавлять в воду с одинаковым эффектом в виде хлорной извести или газа или его можно получать в воде путем электролиза хлорных растворов. Его бактерицидное действие не зависит от способа его применения. Эффективность действия хлора зависит от качества воды и продолжительности контакта его с водой. Добавление хлора к загрязненной воде не эффективно, дорого и нежелательно вследствие возможного появления привкусов и запахов.

**3. Действие хлора на *E. histolytica*.** Чтобы найти стерилизационное вещество, способное разрушить клетки *E. histolytica*, которые неудовлетворительно разрушаются одним хлором при дозе его 4 мг/л в течение 30 мин. в идеальных условиях<sup>4</sup>, изучалась<sup>5</sup> интенсивность проникновения в клетки веществ, содержащих

<sup>1</sup> См. также E. A. Whitlock, Water and Water Eng., January, 1953, p. 12.

<sup>2</sup> См. также S. M. Costigan, J. A. W. W. A., March, 1942, p. 353.

<sup>3</sup> См. также D. E. Green and P. K. Stumpf, там же, November, 1946, p. 1301.

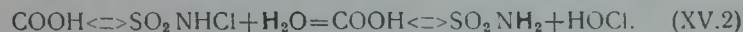
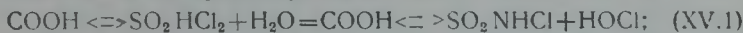
<sup>4</sup> См. также T. C. St. C. Morton, Trop. Diseases Bull., May, 1948, p. 377.

<sup>5</sup> S. L. Chang, J. A. W. W. A., November, 1944, p. 1192.

хлор или хлорамины. Эти соединения по их активности располагаются в следующем порядке:

- хлор ( $\text{Cl}_2$ );
- хлорноватистая кислота ( $\text{HOCl}$ );
- халазон<sup>1</sup>;
- дихлорамиин ( $\text{NHCl}_2$ );
- саксинхлорамид;
- моноклорамиин ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ).

Все эти вещества, кроме хлора и хлорноватистой кислоты, представляют собой соединения хлорамина; в халазон и саксинхлорамид входит сера<sup>2</sup>. В присутствии воды они дают  $\text{HOCl}$ , как видно из следующих реакций:



Следует отметить очень большое влияние рН на бактерицидную силу и силу проникновения хлора в клетки, рН может значительно влиять на концентрацию хлора, требуемую для удовлетворительной дезинфекции. Общеизвестно, что дезинфекционное действие хлора пропорционально концентрации недиссоциировавшей хлорноватистой кислоты и что эта слабая кислота лишь слегка ионизируется в кислотном растворе, но почти полностью ионизируется в щелочном растворе. Эти факты объясняют, почему для получения значительного разрушающего действия на *E. histolytica* и при рН = 11 требуется в 300 раз больше титруемого хлора, чем при рН = 5\*.

**4. Требуемое количество хлора.** Требуемое количество хлора зависит от содержания органических веществ в обрабатываемой воде, содержания водородных ионов, количества углекислого газа, температуры, продолжительности контакта хлора с водой, желательных результатов и других факторов. На практике обычно применяют хлор в таком количестве, чтобы в обработанной воде оставалось около 0,05—0,10 или 0,20 мг/л остаточного хлора. Количество хлора, обычно требуемое для получения указанного остатка, составляет около 1 мг/л при продолжительности контакта более 20 мин. до того, как хлорированная вода доходит до потребителя<sup>2</sup>.

**5. Хлорная известь и негашеная известь<sup>3</sup>.** Хлорная известь или гипохлорит кальция ( $\text{CaOCl}_2$ ) представляет собой хлорированную известь, содержащую (сразу после приготовления) около 33% по весу хлора, годного для дезинфекции. В настоящее вре-

<sup>1</sup> См. также H. D. Dakin and E. K. Dunham. Brit. Med. J., May, 26, 1917, p. 682; Halazone представляет собой p-sulphonidichloramidobenzoic acid.

\* См. также F. J. Brady and others, War Med., April, 1943, p. 409.

<sup>2</sup> См. также Manual of Recommended Water Sanitation Practice, Public Health Bull., 296, 1946, p. 21.

<sup>3</sup> См. также Public Works, September, 1948, p. 36.

ма хлорная известь для дезинфекции воды городских водопроводов применяется очень редко и заменяется жидким хлором. Хлорная известь менее эффективна, чем жидкий хлор, так как она повышает рН. В продаже имеются сухие порошки, содержащие хлор, такие как Н. Т. Н. (гипохлорит с высоким содержанием хлора), Pittchlor и Pittcide. Они содержат, соответственно, около 65, 70 и 50% хлора. Применение этих порошков исключает недостатки, возникающие при применении хлорной извести, стоимость же их на единицу хлора может быть не больше стоимости жидкого хлора. Они часто применяются для дезинфекции водопроводных труб, песка, фильтров и водохранилищ, а также в аварийных условиях, если получение жидкого хлора оказывается невозможным или сам хлор непригоден<sup>1</sup>. Было установлено, что добавка к воде негашеной извести (СаО) дозами около 200 мг/л дает определенный бактерицидный эффект.

**6. Обращение с хлором<sup>2</sup>.** Ниже перечислены некоторые важные свойства хлора, которые оказывают влияние на обращение с ним:

- 1) цвет газа — зеленовато-желтый, жидкости — янтарный;
- 2) запах — типичный;
- 3) вес газа при комнатной температуре в 2,5 раза больше веса воздуха; вес жидкого хлора — в 1,5 раза больше веса воды;
- 4) растворимость в воде низкая: при 10°—10 г/л, при 38°—6,1 г/л;
- 5) при температурах ниже 9,6° хлор переходит в твердую фазу и называется иногда «льдом»;
- 6) критическая температура при атмосферном давлении—144°;
- 7) давление пара при 20° составляет 5,73 ат, при 38°—9,8 ат, при 65°—18,9 ат, при 100°—37,5 ат;
- 8) критическое давление — 190,2 ат;
- 9) вязкость газа  $94 \times 10^{-7}$ , а жидкости  $23 \times 10$  в фунтах в секунду на фут при 20°;
- 10) коэффициент сжимаемости — 0,0118% на единицу объема и единицу атмосферного давления, это — наивысшая сжимаемость любого жидкого элемента, результатом которой является быстрое увеличение давления и температуры;
- 11) отношение объема газа к объему жидкости при 0° и давлении 776 мм рт. ст. составляет 462 или 1 кг жидкости дает около 0,312 м<sup>3</sup> газа.

Хлорный газ не горит и не взрывается. В присутствии водяного пара он химически исключительно активен и быстро соединяется с большинством металлов. Сухой газ высоко коррозионен

<sup>1</sup> См. также J. A. Kienle, Water Works & Sewerage, October, 1932, p. 359.

<sup>2</sup> См. Committee Report, J. A. W. W. A., October, 1953, p. 1060; and „Chlorine“ брошюра, Pittsburgh Plate Glass Co., 1948.

по отношению к металлам при температуре выше  $149^{\circ}$ , может быть коррозионным при  $91^{\circ}$  и не вступает в реакцию с металлами при более низких температурах. Продажный жидкий хлор — безводный; в нем содержится чистого хлора около 99,5%.

При нормальных условиях сухой газ и жидкость могут безопасно и неограниченно долгое время сохраняться в стальных цилиндрах (бочках)<sup>1</sup>. Цилиндры изготавливаются в соответствии с техническими условиями Международной коммерческой комиссии емкостью от 45,4 кг до 150 т и более, транспортируемых на баржах. На крупных водопроводах применяются бочки емкостью 1 т и цистерны емкостью 55 т. Бочки и цистерны обычно наполняются на 80% их емкости жидким хлором при температуре  $20^{\circ}$ , но они на законном основании могут наполняться и на 88% при температуре  $21^{\circ}$ . Они рассчитаны на разрывающее давление  $35 \text{ кг/см}^2$  при температуре  $88^{\circ}$ . Небольшие бочки должны храниться при температуре ниже  $65^{\circ}$  в вертикальном положении. Перевозить их следует осторожно, без перекатывания и бросания. Бочки емкостью 1 т хранятся в горизонтальном положении.

Ввиду ядовитости жидкого хлора следует принять меры предосторожности во избежание его утечки, особенно при сильном разжижении. Желательно держать противогазы вблизи места хранения или применения хлора, но не в том же помещении. Небольшие утечки в хлорном оборудовании можно обнаружить с помощью паров аммиака, которые, соединяясь с хлором, образуют густые белые клубы хлорида аммония.

Голова человека, соприкасающегося с хлорным оборудованием, должна находиться выше места утечки, так как хлор, будучи тяжелее воздуха, быстро опускается и рассеивается.

При контакте хлора с другими газами могут образоваться опасные соединения. Например, попадание хлора в плохо вентилируемое помещение, где находится окись углерода, приводит к образованию фосгена, сильно ядовитого газа. При использовании аммиака с хлором (при хлораминовом процессе) следует быть осторожным и не смешивать газы до введения их в воду вследствие опасности образования сильно взрывчатого вещества — треххлористого азота.

Сталь ярко горит в сухом хлоре при температуре выше  $90^{\circ}$ . Поэтому необходимо, чтобы хлор, пока он не готов к применению, сохранялся в прохладном, хорошо вентилируемом помещении.

Температура в хлораторном помещении может быть увеличена до  $38\text{—}43^{\circ}$  для усиления испаряемости жидкости. В хлораторе или в охлажденных частях труб, подающих хлор, происходит сжижение хлора, если баллоны с хлором сохраняются при более высоких температурах, чем температура помещения, через которое проходит труба. Сухой хлорный газ можно подавать к месту

<sup>1</sup> См. также A. S. Woodward and L. L. Hedgereth, J. A. W. W. A., May, 1953, p. 738.



применения по трубопроводам из любого материала, для подачи же влажного газа следует применять резиновые, стеклянные или серебряные трубы. Однако для жидкого хлора нельзя применять трубы из твердой или мягкой резины. Диаметр труб должен быть не менее  $\frac{3}{4}$ " (19 мм), и трубы должны быть расположены таким образом, чтобы жидкость стекала из них обратно в бочку.

При невозможности сделать это следует предусмотреть устройство (конденсационный горшок) в низких точках для сбора конденсата. Если в помещении недостаточная температура, верхняя часть конденсационного горшка может быть покрыта изоляцией, а нижняя часть может обогреваться электрической лампой в 100 вт. Всасывание воды обратно в хлорную бочку следует предотвращать путем применения специального устройства, препятствующего образованию вакуума. Необходимо предусмотреть вентиляцию хлораторного помещения и помещения, где хранится хлорный газ, с нагнетанием воздуха в верхней зоне, чтобы хлорный газ, который тяжелее воздуха, можно было удалять через отверстия на уровне пола. Для этой цели удобны паровые эжекторы, так как пар поглощает хлор, что способствует его удалению.

Американской водопроводной ассоциацией рекомендуется выполнение следующих технических условий при обращении с хлором<sup>1</sup>:

1) никогда нельзя соединять наполненную хлором бочку с коллектором других бочек, пока температура или давление, или то и другое не будут приблизительно одинаковыми;

2) нельзя пользоваться пламенем или паяльной лампой вблизи бочек с хлором;

3) клапаны у бочки должны быть закрыты, за исключением момента, когда подается хлор.

Нельзя допускать попадания воды к месту утечки хлора. Выделяющееся тепло может увеличить скорость испарения хлора; утечка хлора должна проверяться с помощью тряпок, смоченных в аммиаке. Если возможно, необходимо сделать так, чтобы выходящий хлор поглощался щелочным раствором, например едким натром, кальцинированной содой или гашеной известью.

**7. Применение газообразного хлора.** Хлорный газ можно подавать непосредственно в воду, но предпочтительно растворять его в небольшом количестве воды и в воду подавать раствор газа. Непосредственная добавка хлора в обрабатываемую воду имеет тот недостаток, что получается неудовлетворительная диффузия газа, возможна концентрация хлора вокруг диффузора при низких температурах, а также коррозия труб и клапанов в результате скопления нерастворенного газа. С другой стороны, непосредственная добавка обходится дешевле, чем подача раствора.

---

<sup>1</sup> См. „Water Quality Treatment Manual“, 1941, p. 141 и указания о первой помощи; C. R. Cox, Water Supply Control, New York State Dept. Health. Bull. 22, 1943, p. 88 ff.

**8. Применение жидкого хлора.** Жидкий хлор наиболее эффективен в тех случаях, когда добавляется к профильтрованной воде в таком месте, где возможно хорошее перемешивание. Ввод хлора в резервуар или во всасывающую трубу обычно предпочитается вводу его в напорный трубопровод. Если хлор добавляется под давлением, действие его наиболее эффективно, но встречаются затруднения при обращении с ним. Применение хлораторов

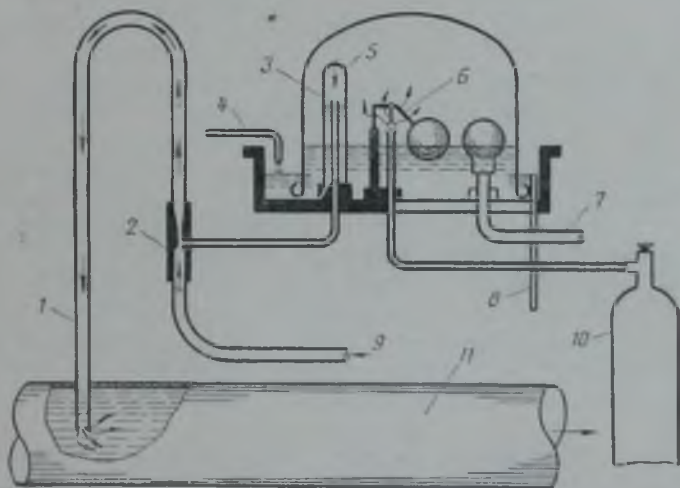


Рис. 133. Схема работы хлоратора (по материалам Wallace and Tiernan Co., Inc)

1 — хлорный раствор; 2 — инжектор, под действием которого хлорная вода поступает в трубопровод; 3 — смешение хлорного газа с водой; 4 — дополнительная подача воды; 5 — измеритель хлора; 6 — поступление хлорного газа через поплавковый клапан; 7 — для сообщения с атмосферой; 8 — переливная в выпуск; 9 — подача воды к инжектору; 10 — баллон с хлором; 11 — главная магистраль с хлорированной водой

для непосредственной подачи ограничено давлениями 1,75—2,10 ат, которые должны быть в подающей трубе, в то время как оборудование, подающее хлорный раствор, работает при любом давлении. Дозу хлора можно регулировать вручную, автоматически пропорционально количеству обрабатываемой воды или механически на различные заранее определенные расходы с помощью механического устройства, который поднимает и опускает уровень воды до инжектора хлора<sup>1</sup>.

Необходимо предусмотреть возможность смешения хлора и воды немедленно после его добавления и в период протекания реакций.

**9. Дозаторы жидкого хлора<sup>2</sup>.** Для добавки хлора в воду

<sup>1</sup> См. также E. W. Barbee, J.A.W.W.A., September, 1946, p.1064

<sup>2</sup> См. также Panel Discussion, J.A.W.W.A., September, 1954, p. 869.

широко применяются надежные устройства. Одно из них изображено на рис. 133\*.

Дозаторы и трубы, ведущие к ним, необходимо содержать в чистоте во избежание перерыва в их работе и других неполадок.

**10. Определение остаточного хлора<sup>1</sup>.** Американской водопроводной ассоциацией одобрены пять методов определения количества остаточного хлора<sup>2</sup>.

Наиболее широко применяется ортотолидиновый метод<sup>3</sup>. Однако этот метод очень примитивен, так как наличие других веществ в воде влияет на получаемые результаты, так же как и примеси в растворах химикалий. К этим веществам относятся нитриты, соединения железа, соединения марганца, органические железистые соединения, лигноцеллюлоза и микроорганизмы. Влияние этих веществ выражается в том, что они могут показать преувеличенное содержание хлора. Взвешенные вещества, мутность и цветность также могут оказать влияние на результаты определения остаточного хлора. Очевидно, что стандартное ортотолидиновое определение остаточного хлора следует проводить только в хорошо контролируемых и определенных условиях во избежание получения ошибочных результатов. Ортотолидиново-мышьяковое определение<sup>4</sup> остаточного хлора или хлорамина применяется при содержании в воде железа, марганца, нитритов и аммиака.

Иодометрический метод дает более точные результаты, чем ортотолидиновый, особенно в тех случаях, когда содержание остаточного хлора превышает 1 мг/л. Для иодометрического определения хлора используется колориметрический метод.

Амперометрический метод<sup>5</sup> — единственный, который позволяет определить отдельно свободный хлор и свободный хлор в сочетании с азотосодержащими соединениями. Колбовый способ<sup>6</sup> представляет собой колориметрическое определение, в котором цвет должен быть стандартизован. Он не применим, если в воде содержится окисленный марганец. Энзимный метод для определения количества хлора<sup>7</sup> заключается в измерении времени свертывания молока, содержащего неизвестное количество хлора с про-

\* См. также „Water Supply and Treatment“, p. 129, National Lime Association, Washington, D. C., 1951.

<sup>1</sup> См. также N. S. Chamberlin and J. R. Glass, там же, August, 1943, p. 1065; D. B. Williams, Water & Sewage Works, vol. 98, 1951, pp. 429, 475.

<sup>2</sup> См. Committee American Water Works Association, J.A.W.W.A., October, 1943, p. 1315.

<sup>3</sup> См. также C. H. Connell, там же, March, 1947, p. 209.

<sup>4</sup> См. также T. J. Hallinan, там же, vol. 36, 1944, p. 296 и F. W. Cilcrease and F. J. Hallinan, там же, p. 1343.

<sup>5</sup> См. также H. C. Marks, J. New, Engl. Water Works Assoc., March, 1952, p. 1.

<sup>6</sup> См. J. A. W. W. A., vol. 32, 1940, p. 1027.

<sup>7</sup> См. P. K. Stumpf and D. E. Green, там же, November, 1946, p. 1306.

теолитическим энзимом папаина. Концентрация хлора является функцией времени свертывания молока.

Способ drop-dilution является быстрым полевым способом, особенно применимым в том случае, когда концентрация хлора больше 10 мг/л, как это требуется, например, при дезинфекции водопроводных труб. Этот способ представляет собой видоизмененное ортотолитидинового способа, где используется ортотолитидин как реагент. Определение потребности хлора в полевых условиях, зависящее от ортотолитидинового реагента, дает только грубо приближительное представление о действительной потребности в нем.

На практике очень удобной оказалась непрерывная запись остаточного хлора<sup>1</sup>. Запись производится в зависимости от деполаризации медного электрода, погруженного в электролитический элемент, через который непрерывно протекает хлорированная вода. Изменения электрического тока передаются и записываются регистрирующим прибором. К факторам, влияющим на чувствительность элемента, относятся разрушаемость электрода, температура и содержание хлораминов. Концентрации растворенных взвешенных веществ в питьевой воде не оказывают большого влияния на чувствительность элемента.

#### **11. Привкусы и запахи, обусловленные применением хлора.**

Добавка хлора может дать неприятный привкус воде при слишком большом количестве остаточного хлора или вследствие соединения его с некоторыми веществами, находящимися в воде. Привкуса можно избежать путем добавки хлора в большем количестве, чем требуется только для дезинфекции, т. е. путем так называемого «перехлорирования» с последующей аэрацией; путем перехлорирования с продолжительным контактом и последующего дехлорирования; путем хлорирования до и после фильтрования, т. е. двойного хлорирования; путем хлорирования до фильтрования; путем хлорирования после фильтрования; путем применения аммиака в сочетании с предварительным хлорированием или двойным хлорированием; путем снижения рН воды для более быстрого снижения остаточного хлора; путем пропускания воды после хлорирования через фильтр из активированного угля или путем, наконец, различного комбинирования указанных способов<sup>2</sup>.

Наиболее трудно удалить привкус хлорфенола вследствие очень малых количеств фенола уже дающих привкус. Испытаниями, проведенными Говардом<sup>3</sup>, привкус иодоформа отмечался в профильтрованной воде с содержанием фенола 0,006 мг/л после хлорирования дозой 0,2 мг/л. В отношении концентрации фенола, дающей привкус хлорированной воде, мнения расходятся: Треш<sup>4</sup>

<sup>1</sup> См. также J. R. Baylis and others, там же, September, 1946, p. 105; S. C. Gray and D. V. Moses, там же, July, 1947, p. 693.

<sup>2</sup> См. также N. J. Howard, там же, vol. 9, 1922, p. 766; J. H. Enslow, там же, vol. 18, 1927, p. 621.

<sup>3</sup> См. также W. Donaldson and R. W. Furman, там же, vol. 18, 1927 p. 605.

<sup>4</sup> См. 19 th Rept, Metropolitan (London) Water Board.

сообщает, что присутствие 0,0002 мг/л фенола при 0,25 мг/л хлора уже дает привкус.

Присутствие в воде 0,005 мг/л иода может дать привкус иодоформа после хлорирования. Перехлорирование и окисление перманганатом калия может удалить привкус, но дехлорирование сернистым газом не достигает цели. Удалению привкусов способствует применение активированного угля.

**12. Предварительное хлорирование, двойное хлорирование и перехлорирование.** Предварительное хлорирование заключается в добавке хлора до фильтрования в таком количестве, чтобы хлор не проходил через фильтр. Если применяются дехлорирующие вещества, то процесс называется перехлорированием. Выяснено, что двойное хлорирование, т. е. добавка хлора в двух точках процесса обработки, в некоторых условиях очень выгодно. Предварительное хлорирование уменьшает бактериальную нагрузку на фильтры, сокращая до минимума возможность прохождения бактерий в профильтрованную воду без уменьшения эффективности фильтрования. Требуемое количество коагулянта может быть также уменьшено вследствие окисления органического вещества предварительным хлорированием. Хлорирование может предшествовать аэрации без заметной потери хлора особенно в щелочных водах. Преимущества предварительного хлорирования<sup>1</sup>:

- 1) уменьшение бактериальной нагрузки на фильтры;
- 2) большая надежность в отношении эффекта дезинфекции;
- 3) в некоторых случаях лучшее обесцвечивание;
- 4) увеличение продолжительности рабочего цикла фильтров;
- 5) предотвращение развития микрофлоры и микрофауны в фильтрах;
- 6) замедленное гниение осадка в отстойных бассейнах;
- 7) разрушение сероводорода и других окисляющих веществ, дающих привкусы и запахи.

Несмотря на преимущества предварительного хлорирования, не следует забывать и о последующем хлорировании как последнем барьере, непреодолимом для бактерий.

К числу преимуществ двойного хлорирования следует отнести:

- 1) уменьшение нагрузки на фильтры;
- 2) наличие двух хлорирующих установок, что обеспечивает бесперебойность процесса;
- 3) уничтожение бактерий высокими концентрациями хлора в короткий период, что более эффективно, чем уничтожение небольшими концентрациями в течение длительного периода;
- 4) длительный период пребывания воды в отстойнике, что позволяет применять относительно большие дозы хлора без избыточного остаточного хлора в фильтрованной воде;
- 5) уменьшение привкусов и запахов;

<sup>1</sup> См. G. D. Norcom, Eng. News-Record, June 8, 1933, p. 745.



6) отсутствие в отстойниках и фильтрах морских водорослей и тины;

7) улучшение коагуляции.

Для удаления запахов и привкусов иногда применяют хлорирование. Широко применяется для удаления привкусов и запахов хлорирование сырой воды до или перед применением активированного угля. Избыточное количество хлора можно добавить в любой точке или точках процесса обработки. Чаще всего его добавляют после фильтрования. Избыток хлора следует удалять во избежание привкусов в воде.

Вообще, минимальное количество хлора, необходимое для дезинфекции воды, следует добавлять после фильтрования. В такой воде имеется наименьшее количество органического вещества, на которое действует хлор; эффективность действия хлора концентрируется на оставшихся бактериях. Хотя при этом требуемое количество хлора увеличивается при добавлении в других точках, результаты дезинфекции могут улучшиться<sup>1</sup>.

**13. Дехлорирование.** Целью дехлорирования является удаление из воды избыточного хлора до подачи воды потребителям во избежание привкуса хлора. Дехлорирование можно осуществлять путем добавки в воду: трисульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), метабисульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ), сульфита натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), бисульфита натрия ( $\text{NaHSO}_3$ ), аммиака ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) или сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ).

Сульфиты представляют собой зернистое вещество, которое можно подавать в сухом виде или в виде раствора. Сульфит натрия имеет наименьшую стоимость за единицу веса, но требуемая доза трисульфата натрия для получения тех же результатов меньше. Аммиак может быть полезным и экономичным дехлоратором, так как в результате реакции с ним образуются хлорамины. Сернистый газ, применяемый для хлорирования таким же способом, как хлор, относительно недорог. Активированный уголь удаляет хлор путем адсорбции. Его можно добавлять в воду в виде порошка до фильтрования<sup>2</sup>.

Сернистый газ добавляется при продолжительности контакта не менее 10—15 мин. Опыт показывает, что для успешного дехлорирования требуется 0,3—0,6 мг/л сернистого газа. На 1 часть остаточного хлора требуется около 1,12 части сернистого газа. Это превышает количество, определяемое теоретически, не более чем на 25%.

Дехлорирование можно осуществлять также обработкой воды металлическим магнием<sup>3</sup>, длительным хранением воды, особенно когда она подвержена действию солнца, и аэрацией<sup>4</sup>.

**14. Хлорирование за точкой перелома.** Если хлор добавляется к воде, в которой отсутствует способность хлоропоглощения, то

<sup>1</sup> См. Eng. News-Record, vol. 100, 1928, p. 407.

<sup>2</sup> См. также С. J. Lauter, J. A. W. W. A., December, 1947 p. 1237.

<sup>3</sup> См. также Н. Bach, Water Works & Sewerage, July, 1934, p. 241.

<sup>4</sup> См. также N. J. Howard, J. A. W. W. A., December, 1947, p. 1241.

количество остаточного хлора должно быть равно количеству добавленного хлора, как указано линией *A* на рис. 134. Однако, если в воде имеются вещества, вступающие в реакцию с хлором, и хлор добавляется во все возрастающей концентрации, то отношение между добавленным и остаточным хлором может быть выражено линией *B*. Точка *B* на линии *B* называется «точкой перелома». Точку перелома при хлорировании воды можно определить как точку на кривой добавленного и остаточного хлора, в которой весь или почти весь остаток представляет собой свободный хлор.

Форма линии *B* является результатом того, что, когда хлор только что начинают добавлять, вследствие потребности воды

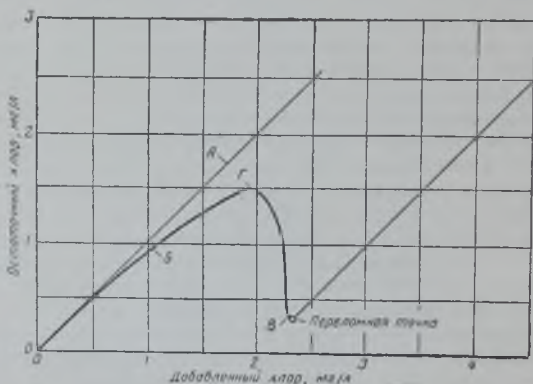


Рис. 134. Хлорирование за переломной точкой

в хлоре образуются как стойкие хлориды, так и нестойкие хлорамины. Хлорамины обуславливают цветность при традиционном ортотолидиновом определении и принимаются как остаточный хлор. В точке *G* на кривой увеличивающаяся концентрация добавляемого хлора разрушает хлорамины, действительный же остаточный свободный хлор определяется точкой *B*, где все способные вступить в соединение с хлором вещества исчезают или окисляются.

Практикой доказано, что добавка хлора в количестве, соответствующем переломной точке или несколько выше ее, удаляет привкусы и запахи, дает соответствующий бактерицидный эффект и оставляет желательный остаток хлора. К сожалению, повсеместное применение этого способа затруднено тем, что не во всех водах имеется различимая точка перелома, а в некоторых случаях колебания качества сырой воды могут вызвать быстрые изменения в положении точки перелома. Точка перелома обуславливается присутствием в воде азотосодержащих соединений. В некоторых

случаях намеченная точка перелома достигается добавкой аммиака  $\text{NH}_3$  или его соединений  $\text{NH}_4\text{OH}$  или  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

До проведения хлорирования за точкой перелома следует провести лабораторные испытания, чтобы показать, что этот способ подходит для данной воды.

**15. Обработка воды хлором и аммиаком.** Добавка аммиака в воду перед добавкой хлора имеет следующие преимущества<sup>1</sup>:

1) предотвращение появления привкусов, особенно вызываемых фенолами;

2) предотвращение развития микроорганизмов в отстойниках, фильтрах и распределительной системе вследствие возможности перехлорирования без опасения появления привкуса хлора в воде;

3) более сильный бактерицидный эффект, чем при одном только хлоре и содержании органических веществ в значительном количестве;

4) длительность бактерицидного действия, препятствующая последующему росту микроорганизмов;

5) уменьшение потребности в хлоре;

6) независимость эффективности действия от присутствия органических веществ;

7) меньшее вредное действие на слизистые оболочки (глаза, нос) при использовании обработанной воды в купальных бассейнах;

8) необходимая доза может быть добавлена без опасения ее преувеличения;

9) хлорамины не ядовиты и не представляют опасности для персонала или потребителей.

Аммиак не следует смешивать с хлором, когда хлор применяется как окисляющее вещество, например при коагулировании цветной воды. В этих случаях аммиак можно добавлять вместе с хлором после фильтрования. Хлорирование с аммиаком рекомендуется главным образом для вод с низким содержанием органического вещества, исключая случаи, когда вода поступает к потребителю в течение короткого времени или когда рН воды выше 8,0.

Изучение, проведенное Службой здравоохранения США, показывает, что хлорамины как дезинфицирующее вещество<sup>2</sup> менее эффективны, чем хлор, и что для полного уничтожения бактерий требуется хлорамина до 25 раз больше, чем хлора, в зависимости от рН и температуры.

Важно, чтобы аммиак добавлялся правильно и чтобы до добавки хлора было осуществлено соответствующее смешение и

<sup>1</sup> См. также Committee Report, J.A.W.W.A., December, 1941, p. 279; M. C. Smith, там же, September, 1951, p. 763; A. E. Griffin, Am. J. Public Health, 1937, p. 226.

<sup>2</sup> Manual of Recommended Water Sanitation Practice. Public Health Bull. 296, 1946, p. 22.

обеспечена достаточная продолжительность контактов — от 20 мин. до 1—2 час. Аммиак можно добавлять в любом удобном открытом резервуаре (или замкнутом цикле), где эффективность применения доказана опытом. Так как аммиак быстро растворяется в воде, но медленно диффундирует, то его следует смешивать механическим путем. Аммиак нужно вводить вблизи дна резервуара, так как его удельный вес меньше удельного веса воды. Период контакта может продолжаться от нескольких минут до нескольких часов, но его не следует принимать слишком продолжительным, так как аммиак служит пищей нитрифицирующим бактериям, которые могут поглотить его до того, как он вступит в реакцию с хлором. Это приводит к увеличению количества бактерий и содержания нитритов в профильтрованной воде<sup>1</sup>. Устойчивость этих бактерий делает невозможным применение хлора для борьбы с бактериями — нитрификаторами<sup>2</sup>. Если хлор добавляется в количестве, недостаточном для получения остаточного хлора после фильтров, то дальнейшая его добавка может дать привкус, так как хлорамины не удаляют фенолы из воды, и последующая добавка хлора, не связанного аммиаком с хлораминами, вызовет привкус хлорфенола. Быстрая дезинфекция не произойдет даже при низком содержании аммиака в воде с высоким рН, и хлор с аммиаком не следует применять для быстрой дезинфекции в водах с рН больше 7,2. Газообразный аммиак очень хорошо растворяется в холодной воде, и поэтому добавка его в воду производится легко. Его можно подавать приборами (аммонизаторами), подобными тем, которые применяются для подачи жидкого хлора. Аммиачную воду следует подавать непосредственно в источник воды через дырчатые трубы<sup>3</sup>.

**16. Обращение с аммиаком.** С аммиаком следует обращаться с такой же осторожностью, как и с жидким хлором<sup>4</sup>. Смесь аммиака и воздуха в отношении 1 : 5 невозгораема. Во влажном состоянии аммиак коррозионен по отношению к металлам, сильно раздражает слизистые оболочки и особенно коррозионен по отношению к меди и медным сплавам. Баллоны с аммиаком должны храниться в условиях, подобных тем, которые рекомендуются для хранения хлора в баллонах.

**17. Треххлористый азот.** Возможность образования треххлористого азота ( $\text{NCl}_3$ ), придающего привкусы и запахи воде и уменьшающего эффективность дезинфекции, является препятствием к хлорированию с остаточным хлором. Образование  $\text{NCl}_3$

<sup>1</sup> См. также R. Hulbert, Eng. News-Record, Sept. 4, 1933, p. 315.

<sup>2</sup> См. также D. Feben, J. A. W. W. A., April, 1935, p. 439.

<sup>3</sup> См. также J. W. McAmis, там же, vol. 17, 1927, p. 341; C. H. Spaulding, там же, vol. 21, 1929, p. 1085; L. B. Harrison, там же, vol. 21, 1929, p. 524; L. L. Jenne, and H. R. Welsford, Ind. Eng. Chem, vol. 23, 1931, p. 32; M. L. Koshkin, J. A. W. W. A. vol. 27, 1935, p. 1477.

<sup>4</sup> Меры скорой помощи см. C. R. Cox, Water Supply Control, New York State Dept. Health, Bull. 22, 1943, pp. 110 ff.

возможно при рН воды 4,4 и менее и в щелочных водах с высоким содержанием азотистых веществ. Треххлористый азот можно удалить дехлорированием с помощью сернистого газа с последующей обработкой хлором и аммиаком<sup>1</sup>.

**18. Двуокись хлора<sup>2</sup>.** Двуокись хлора представляет собой нестойкое соединение, которое обычно образуется<sup>3</sup> при введении раствора хлористого натрия в выпускную трубу хлоратора. Раствор вводится с концентрацией хлористого натрия 0,2—0,3 мг/л. Теоретическое отношение хлора к хлористому натрию составляет 1 : 4, но для получения хорошего выхода двуокиси хлора рекомендуется отношение 1 : 2 и менее. Доза двуокиси хлора, необходимая для эффективного действия в отношении удаления привкуса и запаха, практически колеблется от 0,5 до 1,5 мг/л. Этот химикалий может быть применен экономично в любой точке после окисления органического вещества хлором. Двуокись хлора обладает окисляющей способностью, в 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> раза большей, чем окисляющая способность хлора, но применение двуокиси хлора только как дезинфицирующего вещества не экономично. Она более всего эффективна при удалении привкуса и особенно цвета. Особенно быстро она действует по отношению к фенольным веществам и росту морских водорослей. Сообщают также<sup>4</sup>, что двуокись хлора более эффективна, чем хлор в отношении действия как на бактерии, так и на их споры. Ее действие почти одинаково при рН от 0 до 10. Это обстоятельство особенно важно для вод с большой щелочностью.

При использовании двуокиси хлора сначала производится хлорирование для дезинфекции, а затем добавляется двуокись хлора для уничтожения привкуса и запаха. Коагулирование и фильтрование могут предшествовать хлорированию или следовать за ним и предшествовать добавке двуокиси хлора<sup>5</sup>.

**19. Озон<sup>6</sup>.** Озон — нестойкий изотоп кислорода, который в результате разряда переходит из O<sub>3</sub> в O<sub>2</sub>, освобождая атом кислорода. Преимущества применения озона в качестве дезинфицирующего вещества:

<sup>1</sup> См также D. B. Williams, J. A. W. W. A., May, 1949, p. 441.

<sup>2</sup> См. также J. F. Synau and others, J. New Engl. Water Works Assoc., September, 1944, p. 3; W. D. MacLean, Water & Sewage, May 1946, p. 21; R. J. Mounsey and M. C. Hagar, J. A. W. W. A., September, 1946, p. 1051; F. W. Gilcrease, Water Works Eng., April, 1950, p. 297; Symposium, Public Works, May, 1948, pp. 35 ff, 49.

<sup>3</sup> См. также A. E. Berry, Water & Sewage, February, 1945, p. 21; R. J. Mounsey and M. C. Hagar, см. предыдущую сноску.

<sup>4</sup> См. G. M. Ridenour and R. S. Nichols, там же, June, 1947, p. 561; G. M. Ridenour and E. H. Armbruster, там же, June, 1949, p. 537.

<sup>5</sup> См. также N. H. Brown and L. B. Miller, Public Works, June, 1948, p. 38.

<sup>6</sup> См. также E. Nowlett, Water and Water Eng., January, 1947, p. 25, A. E. Rawson, там же, January, 1954, p. 9.



- 1) отсутствие в воде после дезинфекции каких-либо химических;
- 2) удаление запахов, привкусов и цветности;
- 3) стоимость процесса не является препятствием для его применения<sup>1</sup>.

К недостаткам относятся:

- 1) более высокая стоимость по сравнению с хлорированием;
- 2) необходимость в сложной аппаратуре;
- 3) недостаточная эффективность способа, так как озон быстро разлагается, и растворимость его очень низкая (коэффициент растворимости 0,29 в дистиллированной воде при температуре 14—15°)<sup>2</sup>.

Ганн<sup>3</sup> считает, что стоимость энергии может колебаться от одного до нескольких долларов на 1 млн. галл. в зависимости от тарифа на энергию и потребности в озоне. Для выработки и использования 1 кг озона требуется энергии 30—35 квт-ч. Озонирование экономично применять только для фильтрованной воды, чтобы потребность в озоне была менее 2—3 мг/л. Достаточного обеззараживания можно достигнуть при небольшом остатке озона — 0,1 мг/л или более. Дозы до 4 и 5 мг/л применяются для уничтожения привкуса и цветности.

Озон получается вследствие тихого электрического разряда при переходе тока большого напряжения через струю воздуха в закрытой камере. Озон должен быть тщательно перемешан с обрабатываемой водой, так как его растворимость в воде слабая, и действие его неэффективно без хорошего перемешивания. Хорошего смешения можно достигнуть путем барботажа воды озоном или пропуска озона снизу вверх через градирию с пемзобразным наполнителем, через которую сверху капает вода. На рис. 135 показана технологическая схема установки озонирования в Филадельфии, штат Пенсильвания. Пропускная способность этой установки<sup>4</sup> 150 000 м<sup>3</sup>/сутки, возможно, является наибольшей в США. Опыт работы установки показал, что на каждый 1 кг озона требуется 18—20 квт-ч для генератора озона плюс 4,5—6,5 квт-ч для работы вспомогательного оборудования. Ежедневно необходим максимальный объем воздуха в 43 000—86 000 м<sup>3</sup>. Воздух должен быть осушен, очищен и охлажден до прохождения через электрическую корону, где напряжение между электродами составляет около 15 000 в. Озонированный воздух вводится через пористые пластины, находящиеся в дне диффузорного резервуара. Воздух поднимается через воду глубиной 5,4 м, проходящую сверху вниз через резервуар при продол-

<sup>1</sup> См. также M. T. B. Whitson, J. Roy. Sanit. Inst., 1948, p. 448.

<sup>2</sup> См. также A. E. Rawson, Water and Water Eng., March, 1943, p. 102.

<sup>3</sup> V. Hann, J. A. W. W. A., May, 1943, p. 585.

<sup>4</sup> См. также E. J. Taylor, Water Works Eng., March, 1949, p. 217; J. A. W. W. A., April, 1949, p. 322.

жительности контакта не менее 10 мин. В Уайтинге штат Индиана<sup>1</sup> стоимость озонирования составляет около 0,5 доллара за 1 000 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды.

Озонирование более широко применяется в Европе, чем в США<sup>2</sup>.

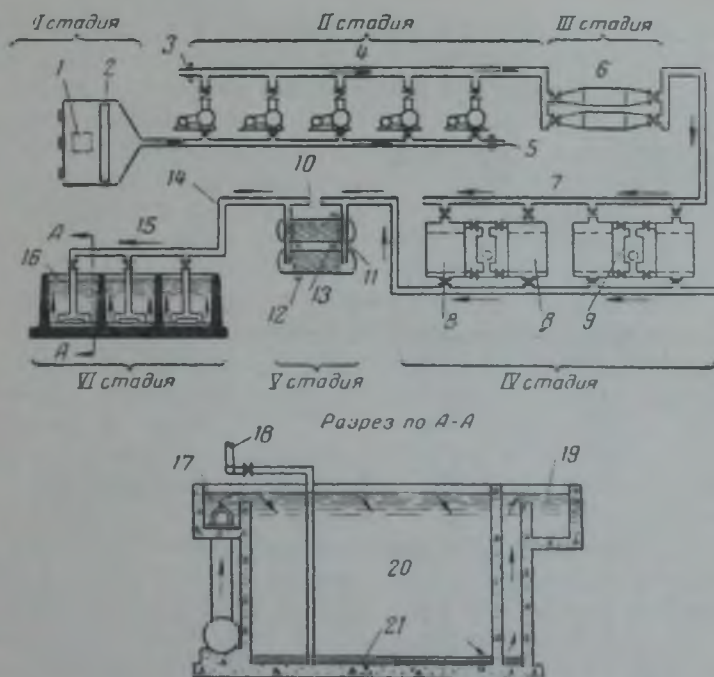


Рис. 135. Технологическая схема озонирующей установки (из E. J. Taylor and E. L. Bean, Eng. News-Record, July, 28, 1949, p. 32)

1 — воздухоприемник; 2 — воздушный фильтр; 3 — предохранительный клапан; 4 — пять нагнетательных вентиляторов; 5 — воздушный вентуз; 6 — два охлаждаемых сушиителя; 7 — четыре адсорбционных сушиителя; 8 — активированный глинозем; 9 — охлаждение спиральных нагревателей и вентилятора; 10 — 50 генераторов озона (показаны только два); 11 — сухой воздух; 12 — впуск охлаждающей воды; 13 — выпуск охлаждающей воды; 14 — озонированный воздух; 15 — три резервуара для диффузии озона; 16 — уровни воды; 17 — впускной канал для воды; 18 — трубопровод озона; 19 — выпускной канал озонированной воды; 20 — резервуар для диффузии озона; 21 — диффузорные пластины

**20. Ультрафиолетовые лучи<sup>3</sup>.** Облучение ультрафиолетовыми лучами представляет собой эффективный способ дезинфекции чистой воды. Ультрафиолетовые лучи убивают живые бактерии и споры, которые трудно уничтожить другими средствами. Раз-

<sup>1</sup> См. J. A. K. Van, Hasselt, Proc. 10th Ann. Short Course for Water and Sewage Plant Supts. and Operators, Louisiana State University, 1947, 1, 43.

<sup>2</sup> См. также T. B. Whitson, J. Inst. Civil Engrs. vol. 21, 1943, p. 83, H. V. Overfield, Water and Water Eng., October, 1943, p. 427.

<sup>3</sup> См. также F. W. Gilcrease and L. DeLalla, J. New Engl. Water Works Assoc., June, 1953, p. 130.

рушительная сила лучей начинается в голубовато-зеленой части спектра при длине волны 0,490  $\mu$ . Эффективность ее увеличивается при уменьшении длины волны до 0,149  $\mu$ .

Интересно отметить, что самые короткие видимые фиолетовые лучи имеют длину 0,410  $\mu$ , а наиболее длинные видимые красные — 0,810  $\mu$ .

Прибор, дающий ультрафиолетовые лучи, представляет собой ртутную лампу, заключенную в кварцевый чехол. Для эффективной работы прибора необходимо, чтобы вся вода протекала тонким, прозрачным слоем в зоне облучения. Воду следует хорошо перемешивать, но не допускать попадания в нее воздуха, и облучение производить непрерывно. Для ультрафиолетовых ламп обычно применяется постоянный ток напряжением 220 в и силой около 3,5 а. Глубина эффективного проникновения луча в чистую и бесцветную воду составляет около 300 мм. Количество потребляемого тока зависит от типа прибора и от того, используется ли один прибор или последовательно несколько. Один прибор расходует около  $\frac{3}{8}$  квт-ч при производительности 450 л/час. Два больших прибора, действующих последовательно, потребляют 1,54 квт-ч при производительности 11,3 м<sup>3</sup>/час<sup>1</sup>. В Бирия, штат Огайо<sup>2</sup>, стоимость обработки составляла 4,52 доллара за 1 млн. галл. (1,2 долл. за 1 000 м<sup>3</sup>) по стоимости электроэнергии 1 цент за 1 квт-ч.

**21. Олигодинамическое действие металлов.** Некоторые металлы, и особенно серебро<sup>3</sup>, при погружении в воду оказывают угнетающее действие на бактерии. Способ дезинфекции воды, основанный на этом принципе, находится еще в экспериментальной стадии, и установок для дезинфекции воды на водопроводах пока не имеется. При этом способе<sup>4</sup> серебро с «активаторами» (полладий или золото), или без них, откладывается на поверхности песчинок, фарфора или фильтрующих свечей. Вода пропускается через фильтр, загруженный таким песком, или остается в контакте с поверхностью, покрытой серебром в течение некоторого времени<sup>5</sup>.

**22. Дезинфекция избыточной известью.** Дезинфекция «избыточной известью» заключается в применении достаточного количества извести для умягчения и очистки и для получения бактерицидного эффекта. Необходимая доза составляет 10—20 мг/л СаО. После проявления бактерицидного действия избыток извести следует удалить предпочтительно одним из методов рекарбонизации<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> См. также Plumbers' Trade J., vol. 73, 1923, p. 897; vol 74, 1924, p. 36.

<sup>2</sup> См. также J. F. Springer, Public Works Mag, October, 1931, p. 39

<sup>3</sup> См. также A. Goetz, J. A. W. W. A., May, 1943, p. 585.

<sup>4</sup> См. также J. H. Gibbard, Am. J. Public Health, September, 1933, p. 910.

<sup>5</sup> См. также S. V. Moiseev, J. A. W. W. A., February, 1934, p. 217; E. V. Suckling, Water and Water, Eng., Dec. 21, 1931, p. 625; Just and Szniolis, J. A. W. W. A., April, 1936, p. 492.

<sup>6</sup> См. также A. Houston, Munic. Sanit., April, 1932, p. 148.

**23. Дезинфекция иодом.** Дезинфекция воды иодом удобна при небольшом количестве воды и в полевых условиях (для войсковых соединений). Удовлетворительную дезинфекцию дает добавка в воду 1 см<sup>3</sup> смеси, состоящей из 7 частей иода, 3 частей иодистого калия и 90 частей спирта на 7 л воды, при продолжительности контакта в 5 мин. Иод может быть также использован для дезинфекции<sup>1</sup> в виде шариков. Чэнг<sup>2</sup> считает, что доза иода для дезинфекции должна составлять около 8 мг/л.

**24. Борьба с микроорганизмами.** Рост микроорганизмов в озере или открытом водохранилище можно предотвратить полностью или частично путем соответствующего режима работы водохранилищ или путем применения ядовитых химикалий, таких как медный купорос, хлор и хлорамин. В системах городского водоснабжения этого можно достигнуть путем применения соединений ртути и других тяжелых металлов, окисляющих веществ, кислот, едкой щелочи и других ядовитых веществ. В системах промышленного водоснабжения при особых условиях — путем применения активированного угля или с помощью физических способов, таких как аэрация, отстаивание и специальная обработка воды<sup>3</sup>. Однако лучше предотвращать рост организмов, чем удалять их после того, как они развились.

При сооружении водохранилища следует избегать мелких и застойных мест с целью предотвращения роста некоторых типов микроорганизмов. Вообще, нежелательно устраивать запрудные водохранилища при высоком содержании органических веществ в воде (болотистого происхождения). Нежелательно также хранить грунтовую или фильтрованную воду в открытых резервуарах. Попадания микроорганизмов в водопроводную систему можно избежать, если брать воду с глубины, где такие организмы не встречаются.

Обычно предпочитают непрерывно обрабатывать загрязненную воду при впуске в резервуар или в распределительную систему, чем уничтожать массы зооглейных водорослей, которые могут скапливаться в резервуарах или других сооружениях. Однако легче предотвратить попадание микроорганизмов в систему, чем удалять их из системы.

Приводим некоторые важные соображения в отношении удаления микроорганизмов<sup>4</sup>. Споры некоторых морских водорослей могут сопротивляться любым формам алгицидной обработки и развиваются далее, попав в благоприятную среду. Если часть сырой воды подвергается действию света в течение длительного периода на очистных установках, то для предотвращения роста

<sup>1</sup> См. также T. J. Burgers and W. Kalies, Public Health, Eng' Abs., July, 1948, p. 23.

<sup>2</sup> См. также S. L. Chang and J. C. Morris, Ind. Eng. Chem, vol. 45, 1953, pp. 1009, 1013.

<sup>3</sup> См. также H. K. Nason, J. A. W. W. A., March, 1938, p. 436.

<sup>4</sup> См. также J. W. Husband, Water and Water Eng., vol. 35, 1933, p. 765.

микроорганизмов может оказаться необходимым неоднократное применение алгицида, но предпочитается единичное его применение. Алгициды следует применять непосредственно перед тем, как вода достигнет известного места скопления морских водорослей. Некоторые организмы размножаются в определенное время дня и обработка воды именно в это время часто бывает наиболее эффективна. Увеличенная скорость движения воды в трубах и каналах может благоприятствовать росту некоторых организмов во всей системе, хотя рост других организмов, напротив, может быть ограничен увеличением скорости движения воды. Все микроорганизмы подвергаются разложению и поэтому превращаются в растворимые органические вещества, которые могут проходить через фильтр любого типа. В некоторых случаях для предотвращения роста микроорганизмов желателен изменить химическое качество воды.

Метод<sup>1</sup> «углеродного затемнения» с целью борьбы с морскими водорослями заключается в подаче активированного угля для создания искусственной мутности, препятствующей росту микроорганизмов вследствие уменьшения света. Доза активированного угля, добавляемого в виде шлама, составляет 10—25 кг на 1 000 м<sup>2</sup> поверхности воды; чем больше нормальная мутность воды, тем меньше требуемое количество активированного угля. Для предотвращения роста микроорганизмов в замкнутых системах и в закрытых резервуарах применяются такие эффективные методы обработки, как хлорирование, обработка хлорамином, медным купоросом и очистка труб или резервуаров. Хлорамин применяется главным образом для замедления действия хлора, чтобы он мог быть более эффективным в отдаленных частях распределительной системы; очистка труб, если она производится механически, может ускорить действие коррозии. Несмотря на отмеченные недостатки каждый из указанных способов удовлетворительно применяется на практике.

**25. Медный купорос<sup>2</sup>.** Медный купорос (сульфат меди) — химикалий, наиболее часто применяемый для уничтожения микроорганизмов в резервуарах, трубах и распределительных системах. Его можно вводить в воду с открытой поверхностью путем буксирования мешка с необходимым количеством медного купороса позади лодки, передвигающейся по параллелям на расстоянии 7,5—15,0 м одна от другой; применением дырчатого деревянного или другого какого-либо ящика, в который насыпаются кристаллы медного купороса; разбрызгиванием раствора медного купороса по поверхности воды из движущейся лодки; распылением сухого медного купороса из лодки или с самолета, а также разбрасыва-

<sup>1</sup> См. также Н. О. Hartung, Taste and Odor Control Water Purification, Industrial and Chemical Sales, New York, 1947, p. 25, 55.

<sup>2</sup> См. также Ф. Е. Hale, The Use of Copper Sulphate in Control of Microscopic Organisms, 1950 ed, Phelps Dodge Refining Corp., New York.



нием его по поверхности льда или открытой воды<sup>1</sup> и другими способами<sup>2</sup>. При поступлении воды в закрытую трубу медный купорос можно добавлять в виде раствора с концентрацией около 0,5—0,65 мг/л<sup>3</sup>.

Непрерывная подача является наиболее эффективной; при ней получается в воде остаточный сульфат меди, который продолжает действовать в течение 4 мес.<sup>4</sup>

Содержание медного купороса в воде в количестве, необходимом для уничтожения микроорганизмов, не влияет на здоровье человека и пригодность воды для хозяйственно-питьевых нужд и большинства промышленных целей. Однако, оно может вредно повлиять на рыбу, особенно на некоторые виды форели, которая погибает при концентрации выше 0,15 мг/л. Концентрации медного купороса, при которых погибают рыбы, приведены в табл. 55<sup>5</sup>.

Кристаллы продажного медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) могут иметь размеры от мелкого порошка до таких кусков, которые проходят через сетку с отверстиями 2,5 см. Кристаллы быстро растворяются в воде и может быть получен раствор крепостью около 25%. Продажный медный купорос содержит около 25% меди. Поэтому добавка 0,8 мг/л медного купороса даст концентрацию меди 0,2 мг/л, если в самой воде не содержится медь. Это — наивысшая концентрация, допускаемая стандартами Службы здравоохранения США на питьевую воду. Количество медного купороса, необходимое для уничтожения различных микроорганизмов, приведено в табл. 45.

Таблица 55

Концентрация медного купороса, при которой погибают рыбы\*

Виды рыб	Медный купорос в мг/л	Виды рыб	Медный купорос в мг/л
Форель . . . . .	0,15	Молодая щука . . . . .	0,42
Карп . . . . .	0,34	Карась . . . . .	0,50
Suckers [62] . . . . .	0,34	Sunfish [63] . . . . .	1,35
Сом . . . . .	0,42	Черный морской окунь	2,00
Окунь . . . . .	0,66		

\* W. S. Mahlie, J. A. W. W. A., vol. 10, 1923: p. 1000, F. E. Hale, Water & Sewage Works, vol. 93, 1946 p. R-73.

<sup>1</sup> Детали процесса см. C. R. Cox, Water Supply Control New York State Dept. Health, Bull. 22.

<sup>2</sup> См. также „Water Quality and Treatment“, American Water Works Association, 1950, p. 116.

<sup>3</sup> См. также F. C. Amstary, Jr. J. A. W. W. A., March, 1945, p. 294.

<sup>4</sup> R. L. Derby and D. W. Graham, Proc. Am. Soc. Civil Engrs., July, 1953, p. 203-1.

<sup>5</sup> Испытание для определения количества сульфата меди см. Water Works Eng., September, 1950, p. 848.

26. Хлор как альгицид. Применение хлора как альгицида не очень распространено ввиду удобства применения медного купороса и трудности добавки хлора в неподвижную воду<sup>1</sup>. Если вода протекает по узкому каналу или переходит поверхностным слоем из одного водоема в другой, хлорный газ можно добавлять в этом месте способом, описанным в п. 7 настоящей главы. Этот метод может быть применен для уничтожения водорослей в распределительном резервуаре<sup>2</sup>. Количество хлора, необходимое для уничтожения водорослей, приведено в табл. 45. Следует отметить, что для достижения цели следует добавлять достаточное количество хлора, после чего, если необходимо, нужно провести дехлорирование во избежание появления нежелательных привкусов. Успешно применяется «хлорамин меди» — соединение аммиака, меди и медного купороса<sup>3</sup>.

27. Борьба с развитием растительности и рыбами<sup>4</sup>. Наличие растительности нежелательно в водохранилищах и открытых каналах, так как она неприятна, мешает течению воды, дает привкусы и запахи, придает цветность воде и является пищей для нежелательных организмов. Способы удаления растительности из бассейнов рек, проверенные временем, включают заливку нефтью, сжигание, боронование, выкашивание<sup>5</sup>, обработку драгами и цепными механизмами<sup>6</sup>. Успешно проводится обрызгивание химикалиями с самолета<sup>7</sup>.

Применение химикалий может быть менее дорогим и в то же время более удовлетворительным. Уничтожение растительности вокруг водохранилищ химическим способом может способствовать уничтожению привкусов и запахов и предотвратить пожары. Однако этот способ следует применять с осторожностью, чтобы применяемые химикалии не дали привкуса, запаха и не внесли ядовитых веществ в воду. Например, следует избегать распространенного средства уничтожения растительности — препарата 2,4-D, так как в его состав входит фенол.

К числу приемлемых химикалий относятся «Аммате» (сульфамат аммония) и натриевая соль трихлоруксусной кислоты (90% натриевого трихлорацетата)<sup>8</sup>.

Временную водную растительность, такую как cattails и tules, для уничтожения которой ранее применяли 2,4-D, можно обрабатывать препаратом 2,4, 5-T и углеводородами: нефтью,

<sup>1</sup> См. также C. Cohen, J. A. W. W. A., vol. 17, 1926, p. 444; F. J. Sette, Eng. News-Record, May 28, 1931, p. 885.

<sup>2</sup> См. также L. B. Mangum, J. A. W. W. A., 1929, p. 44.

<sup>3</sup> См. „Water Quality and Treatment“, American Water Works Association, 1950, p. 122.

<sup>4</sup> См. также R. F. Goudey, Water & Sewage Works, vol. 94, 1947, p. R-121; M. Flentje, J. A. W. W. A., August, 1952, p. 727.

<sup>5</sup> См. также Water Works Eng., February, 1954, p. 118.

<sup>6</sup> См. там же, June 4, 1941, p. 630.

<sup>7</sup> См. Public Works, May, 1949, p. 23.

<sup>8</sup> См. W. I. Boyd, Am. City, December, 1952, p. 87.

трихлорбензолом и ортодихлорбензином. Лоизелль<sup>1</sup> считает, что «аммате» и СМУ являются наилучшими гербицидами для применения в бассейнах рек. Оба эти препарата—запатентованные соединения. Успешно применяются многие запатентованные соединения типа дихлорфенола оксиуксусной кислоты. Растительность, за исключением подводной<sup>2</sup>, может быть уничтожена применением арсената натрия, сульфата меди, хлора и бенхлора (trichlorinated benzines). Так как мышьяковистые соединения ядовиты для человека и животных, их не следует применять в концентрациях более 0,5 мг/л. Дозы до 10 мг/л применялись без вреда для рыб<sup>3</sup>. Такие дозы следует применять с большой осторожностью, и воду не следует использовать для купания, орошения и питья, пока не установлена ее пригодность. Хлорированные углеводороды, такие как бенхлор № 3, можно добавлять в количестве около 47 л/га с продолжительностью контакта в течение 4 дней во избежание появления привкуса и запаха.

Наличие рыбы в водохранилищах не всегда желательно и иногда принимаются меры к ее удалению. К этим мерам относятся:

- 1) вылавливание неводом, что не всегда бывает успешным из-за коряг;
- 2) спуск воды из водохранилища;
- 3) отравление рыб особенно с помощью rotenone, который токсичен для рыб, но не токсичен в таких же количествах для человека<sup>4</sup>.

**28. Уничтожение мелких животных организмов.** Загрязнение источников водоснабжения возможно личинками летающих насекомых, ракообразными и другими мелкими микроскопическими организмами<sup>5</sup>. Личинки являются водной стадией развития комаров chironomidae. В водной стадии развиваются яйца, коконы и личинки. Яйца откладываются в воду в защитном студенистом покрытии, закрепленном или свободно плавающим. Личинки, напоминающие букву S или цифру 8 размером от нескольких миллиметров до 25 мм, называются белыми червями или дождевыми красными червями в зависимости от размера и цвета. В большинстве случаев личинки встречаются на глубине или в иле на дне водоема. Они двигаются и питаются, не покидая этого убежища. Весь цикл от яйца до взрослой особи может продолжаться от 1 до 5 недель. К механическим средствам борьбы относятся покрытие резервуара, загороживание сетками всех отвер-

<sup>1</sup> D. W. Loiseille, New Engl. J. Water Works Assoc., June, 1953, p. 140 Anon., Public Works, June, 1948, p. 36.

<sup>2</sup> См. также E. W. Surber, J. A. W. W. A., August, 1950, p. 735.

<sup>3</sup> См. также K. M. Mackenthum, Sewage and Ind. Wastes, August, 1950, p. 1062.

<sup>4</sup> См. также Public Works, September, 1948, p. 61.

<sup>5</sup> См. также M. Flen tje, J. A. W. W. A., November, 1945, p. 1194.

стей или применением excelsior фильтров, которые полезны также для удаления ракообразных.

К биологическим способам относятся:

- 1) уменьшение растительности вблизи водоема;
- 2) уничтожение водорослей и удаление таким образом источника питания;
- 3) разведение хищных рыб;
- 4) периодическое освобождение водоема от воды.

К химическим способам относятся:

1) применение минерального масла (белого масла «Асте» вязкостью 80—85 при 38°), чтобы лишить яиц воздуха и тем самым предотвратить вылупливание куколок и улавливать летающих насекомых, садящихся откладывать яйца;

2) применение DDT в концентрации около 0,01 мг/л. DDT следует применять только опытным работникам. Такие средства для уничтожения водорослей, как медный купорос, хлор и хлорамины, не имеют такого распространения, как средства для уничтожения личинок.

---

## Глава XVI

### РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ

**1. Удаление железа и марганца.** Существуют следующие способы удаления железа и марганца:

- 1) аэрация;
- 2) применение извести, возможно вместе с хлором;
- 3) одно хлорирование;
- 4) применение катионо-обменных веществ.

Все эти способы применяются вместе с фильтрованием для удаления выпадающих соединений или без него. Осаждение увеличивается каталитическим действием ранее выпавших гидратов и оксидов, которые могли быть добавлены. Одно железо можно удалить окислением посредством перманганата калия или путем коагулирования и отстаивания.

Марганец можно удалить биологическим способом путем контакта с *sphenothrix magnifera*; Н-катионированием; фильтрованием на контактных биологических фильтрах, с последующей аэрацией, особенно в тех случаях, когда в качестве контактного материала может быть использован пиролюзит, представляющий собой природную окись марганца; применением перманганата калия<sup>1</sup>; марганцевым катионитовым обменом; хлорированием за точкой перелома с последующим фильтрованием<sup>2</sup>. По Крэйгу<sup>3</sup> марганец можно удалить добавкой меди или извести и поддержанием рН=10 для коагуляции. Норделл<sup>4</sup> обращает внимание на каталитическое действие гидроокисей марганца на окисл и их влияние на созревание фильтров и при понижении требуемого рН. Он также указывает на необходимость принятия мер по предотвращению образования толстых покрытий в фильтрующей среде. Способы удаления железа и марганца перечислены в табл. 56. Возможны и другие способы.

<sup>1</sup> См. также J. W. Mendelsohn, Water Works & Sewerage, January, 1935, p. 3.

<sup>2</sup> См. также S. E. Edwards and G. B. McCall, Eng. News-Record, Aug. 8, 1946, p. 89.

<sup>3</sup> E. C. Craig and others, J. A. W. W. A., vol. 24, 1932, p. 1762.

<sup>4</sup> E. Nordell, Water Treatment for Industrial Uses, p. 334; Reinhold Publishing Corporation, New York, 1951.



Способы удаления железа и марганца<sup>1</sup>

Характер воды	Процессы обработки <sup>2</sup>	Сооружения <sup>3</sup>	pH	Химикалии	Окисление	Примечания
Только железо, без заметного содержания органических веществ	<i>A</i> <i>SD</i> <i>SF</i>	<i>A, SB, SF</i>	Свыше 6,5	Нет	Да	Простота в эксплуатации
Железо и марганец свободно связаны с органическими веществами; нет избытка органических веществ или органических кислот	<i>A</i> <i>CO</i> <i>Sd</i> <i>SF</i>	Контактный аэратор из кокса или дробленого пиролюзита <i>SB</i> <i>SF</i>	Свыше 6,5	.	.	Двойная перекачка легко регулируется
Железо и марганец, связанные с органическим веществом	<sup>1</sup> <i>CF</i>	<i>A</i> и слой покрытого марганцем песка. „Бирм“, дробленый известняк или марганцевый цеолит	Свыше 6,5±	.	.	См. сноску <sup>3</sup>
Железо и марганец, связанные с органическим веществом; нет избытка углекислоты или органической кислоты	<i>CF</i>	Фильтрующий слой из покрытого марганцем песка, „Бирм“, дробленый известняк или марганцевый цеолит	Свыше 6,5	Нет <sup>4</sup>	Да <sup>5</sup>	Одна перекачка, аэрация не требуется
Железо и марганец, свободно связанные с органическим веществом	<i>A</i> <i>L</i> <i>Sd</i> <i>SF</i>	Эффективна <i>A</i> . Известковый питатель и смешительный бассейн	8,5—9,6	Известь	Да	Требуется регулирование pH
Окрашенная, мутная поверхность воды плюс железо и марганец с органическими веществами	<i>A</i> <i>Co</i> <i>L</i> <i>Sd</i> <i>SF</i>	Обычные скорые песчаные фильтры	8,5—9,6	<sup>6</sup>	.	Требуется полный лабораторный контроль
Подземная вода, лишенная растворенного кислорода при содержании железа менее 1,5—2,0	<i>Z</i>	Обычная натриево- или марганцево-катионитовая установка на обводном трубопроводе	Свыше 6,5	<sup>7</sup>	Нет	См. сноску <sup>6</sup>
Мягкая колодезная вода, лишенная растворенного кислорода, с железом и бикарбонатом железа	<i>L</i> <i>Sd</i> <i>SF</i>	Известковый питатель, включающий смешительные и отстойные резервуары и напорный фильтр	8,0—8,5	Известь	.	См. сноску <sup>8</sup>

1. Из C. R. Cox, Water Supply Control, N. Y. State Dept, Health, Bull. 22. 2. *A* — аэрация; *Sd* — отстаивание; *SF* — фильтрование через песок; *CO* — контактное окисление; *CF* — контактное фильтрование; *C* — хлорирование; *L* — обработка известью; *Co* — коагулирование; *SB* — отстойный бассейн [64]. 3. Двойная перекачка необходима, если не применятся воздушный компрессор или эжектор для нагнетания воздуха в воду. Достаточен ограниченный источник воздуха. Легко контролируется. 4. Фильтрующий слой активируется или окисляется временами хлором или перманганатом натрия. 5. Но не путем аэрации. 6. Известь и хлористое железо, или сульфат железа, или хлорированный купорос, или известь и купорос. 7. Ни один не добавляется непрерывно, но фильтрующий слой регенерируется временами соляным раствором. 8. Только растворимые соединения железа и марганца можно удалить катионным обменом; аэрация или двойная перекачка не требуются. 9. Осаждение железа при отсутствии воздуха происходит при низких pH. Отсутствие кислорода минимально сокращает или предотвращает коррозию. Двойная перекачка не требуется.

Аэрация с последующим отстаиванием и фильтрованием или только отстаивание и фильтрование являются наиболее распространенными способами удаления железа и марганца. Они особенно применимы тогда, когда железо присутствует только в карбонатной форме. Количество кислорода, требуемое для окисления двухвалентного железа, составляет только около 0,14 части на 1 часть железа, так что обычно достаточно только небольшого побуждение воздухом. Окисление двухвалентного железа может быть ускорено особенно в водах с высоким содержанием углекислоты путем увеличения рН за счет аэрации или добавки таких щелочных веществ, как известь, кальцинированная сода или едкий натр. Кислые воды следует превращать в щелочные. Аэрация может быть усилена за счет избыточного побуждения, чтобы затруднить осаждение выделяющегося железа. Железо также можно удалять путем фильтрования после аэрации через капельные или контактные фильтры из кокса или из другого подобного материала. Отстойные бассейны после аэрации могут быть рассчитаны на продолжительность отстаивания от 30 мин. до 2 час. и должны быть оборудованы удобными устройствами для очистки. Присутствие органического вещества, углекислоты и органических кислот затрудняет удаление железа и марганца. Железо удаляется легче, чем марганец.

Железо и марганец можно осаждают из аэрированной воды путем добавления извести. При  $\text{pH}=9,4 \div 9,6$  создаются условия, благоприятствующие осаждению марганца, а при  $\text{pH}=8,2$  — осаждению железа. При умягчении воды с помощью добавки избыточной извести железо и марганец удаляются в окисленном состоянии. Хлор применяется<sup>1</sup> в дополнение к извести. Хлорирование за точкой перелома<sup>2</sup>, предшествующее контактной аэрации, отстаиванию или фильтрованию, одно или в сочетании с другим способом, может быть эффективным при удалении железа и марганца из воды при обычном рН.

Окисление железа, особенно органического происхождения, может быть эффективным при применении перманганата калия. В этом случае менее возможно появление привкуса, при  $\text{pH}=8,8 \div 8,9$ .

Осаждение нерастворенного железа может быть ускорено коагулированием серноокислым алюминием, железным купоросом или другими коагулянтами при регулировании рН (для получения оптимальных результатов).

Следует отметить, что удаление только одного железа более просто и более успешно, чем удаление марганца или железа и марганца вместе.

**2. Удаление соединений железа и марганца путем катионирования.** Железо и марганец можно удалять способом катионного

<sup>1</sup> См. также P. E. Hale, J. A. W. W. A., October, 1936, p. 1577.

<sup>2</sup> См. также E. R. Mathews, там же, July, 1947, p. 680.

обмена. Существенным в процессе является то, что сырая вода не аэрируется до поступления в катионитовый фильтр, так как иначе осадок гидратных металлических окисей мог бы забить фильтрующие слои катионита. Успешно применяются патентованные материалы. Не рекомендуется применение синтетических цеолитов.

Один из способов удаления заключается в фильтровании через катионитовый материал. Применяемый материал представляет собой контактный окислитель, изготовленный путем обработки катионитового материала, используемого при умягчении воды, сульфатом марганца и перманганатом калия, благодаря чему обеспечивается отложение высших окислов марганца. При соприкосновении сырой воды с этим материалом железо и марганец окисляются в нерастворимые гидратные окиси, которые удаляются механически путем фильтрации через катионитовые материалы. Фильтр следует промывать подобно скорому песчаному фильтру и затем регенерировать с помощью перманганата калия.

Этот способ применим к чистым водам, не содержащим больших количеств железа или марганца, или таким, из которых большие количества железа или марганца были удалены другими способами.

**3. Удаление кремнекислоты<sup>1</sup>.** Кремнекислота удаляется из воды с целью предотвращения образования накипи при использовании воды для производства, особенно питательной воды для паровых котлов. Один из способов удаления коллоидной кремнекислоты заключается в применении сернокислого железа и извести для получения гидроокиси железа, которая адсорбирует кремнекислоту. Этот способ может оказаться непригодным потому, что требуется 7—25 мг/л сернокислого железа на 1 мг/л удаляемой кремнекислоты, причем увеличивается содержание сернокислого натрия в воде на 1,7 мг/л на каждый 1 мг/л добавляемого сернокислого железа. Весьма нежелательным является также увеличение в результате обработки воды количества взвешенных веществ и сульфатной жесткости.

Другой способ заключается в применении гидроокиси магния с углекислотой, бикарбонатом кальция или бикарбонатом магния, которые могут присутствовать в воде или их можно добавлять для получения карбоната магния, который поглощает кремнекислоту. Удаление растворенной кремнекислоты более затруднительно и способы ее удаления в настоящее время находятся в стадии изучения.

**4. Удаление фтористых соединений.** Способы удаления фтористых соединений (предлагаемые или еще изучаемые) следующие:

1) контакт воды со специально приготовленной костяной мукой (ground bone);

<sup>1</sup> E. J. Roberts and W. W. Jukkola, Public Health Eng. Abst., November—December, 1950, p. 27

2) применение гранулированного апатита  $[\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6 \times \text{CaCO}_3]$ <sup>1</sup>;

3) обработка известью в избыточном количестве до 34 мг/л в присутствии достаточного количества магния<sup>2</sup>;

4) пропускание воды через слой активированной окиси алюминия;

5) пропускание воды через слой трикальциевого фосфата с обратной промывкой чистой водой, с последующей промывкой раствором каустика для превращения нерастворимого фтористого кальция в растворимый фтористый натрий и снова промывкой чистой водой и после этого углекислотой для поддержания рН около 7,0; после этого производится снова промывка чистой водой<sup>3</sup>;

6) поглощение гидроксильными апатитами в водонапорном резервуаре с регенерацией среды едким натром, подобно предыдущему способу<sup>4</sup>;

7) применение различных ионо-обменных смол<sup>5</sup>.

Возможно, что применение активированной окиси алюминия в сочетании с ионо-обменными материалами дает наиболее удовлетворительное удаление из воды фтористых соединений<sup>6</sup>.

**5. Удаление растворенных солей.** С помощью ионного обмена можно удалить из воды любое количество растворенных минеральных веществ и получить воду любого желательного качества в определенных пределах, даже более лучшего качества, чем дистиллированная вода<sup>7</sup>. Кенцелит и цефолит, патентованные катионитовые материалы, успешно применяются для удаления свинца, цинка, меди и олова<sup>8</sup>. Стрейхер<sup>9</sup> считает, что воды, содержащие 1 000—3 000 мг/л растворенных взвешенных частиц, могут быть успешно деминерализованы путем применения постоянного электрического тока в специальных сосудах с брезентовыми или подобными им диафрагмами.

**6. Опреснение соленой воды**<sup>10</sup>. Опреснение морской воды для городского водоснабжения еще не получило практического осуществления. Установлены крупные премии для поощрения исследований в этой области<sup>11</sup>. Единственно возможными спосо-

<sup>1</sup> См. также T. J. Maier, Am. J. Public Health, December, 1947, p. 1559

<sup>2</sup> См. R. D. Scott and others, там же, January, 1937, p. 9.; J.A.W.W.A., August, 1953, p. 879.

<sup>3</sup> См. также R. Wamsley and W. E. Jones, Water & Sewage Works, August, 1947, p. 272.

<sup>4</sup> См. также Eng. News-Record, Jan. 19, 1950.

<sup>5</sup> См. также F. J. Maier, J. A. W. W. A., August, 1953, p. 879.

<sup>6</sup> См. также J. A. Lee, Chem. Eng., July, 1952, p. 400.

<sup>7</sup> См. также H. B. Gustafson, Ind. Eng. Chem., March, 1949, p. 464.

<sup>8</sup> См. также B. A. Adams, Water and Water Eng., Sept. 20, 1930, p. 415.

<sup>9</sup> L. Streicher and others, Ind. Eng. Chem., vol. 45, 1953, p. 2394.

<sup>10</sup> См. также E. D. Home, J. A. W. W. A., August, 1952, p. 690; Eng. News-Record, May 18, 1950, p. 32; „Fresh Water from the Ocean“, The Ronald Press Company, New York, 1954.

<sup>11</sup> См. также A. M. Buswell, Public Health Eng. Abst., March, 1951 p. 27.



бами остаются выпаривание и ионно-обменная деминерализация. Источниками тепла для выпаривания могут быть различные виды топлива и лучистая теплота солнца<sup>1</sup>.

**7. Удаление масла.** Масло следует удалять из воды, расходуемой главным образом на электростанциях и для промышленных целей. Его можно удалить поглощением, пропуская воду через фильтры из древесной шерсти или подобного материала, который можно часто восстанавливать; фильтрованием через песчаные фильтры (подобные напорным фильтрам) возможно с предварительным образованием хлопьев и применением патентованных коагулянтов, а также оборудованные механическими побудителями в дополнение к обратной промывке. Возможны и другие способы.

**8. Удаление радиоактивных веществ.** Радиоактивные вещества, описанные в п. 32 главы X, можно частично (на 80—90%) удалить из воды обычными способами коагулирования и отстаивания с последующим фильтрованием<sup>2</sup>. Никаких других способов предложено не было.

**9. Обесцвечивание воды.** Цветность можно устранить такими же способами, как и другие коллоиды, т. е. адсорбцией и химическим осаждением, возможно, с последующим фильтрованием через песчаные фильтры. Однако ни одним из этих способов не удается устранить цветность полностью. К другим способам относятся обесцвечивание солнечным светом в открытых резервуарах или применение хлора. Наиболее распространено коагулирование сернокислым алюминием с последующим фильтрованием. При благоприятных условиях добавка около 17 мг/л сернокислого алюминия удаляет 10° цветности. Удаление цветности химическими коагулянтами производится на основе тех же принципов, что и коагулирование.

**10. Устранение привкуса и запаха<sup>3</sup>.** Главными причинами привкуса и запаха в городских системах водоснабжения могут быть водоросли, производственные сточные воды, растворенные газы, растворенные минеральные вещества и другие причины.

Поскольку привкус и запах близко связаны, то при удалении одного происходит удаление и другого.

К способам удаления привкусов и запахов относятся: аэрация, предварительное хлорирование, перехлорирование с последующим дехлорированием, аммонизация или хлораммонизация,

<sup>1</sup> См. также W. A. Aultman, J. A. W. W. A., August, 1950, p. 786.

<sup>2</sup> См. также W. A. Rodger, там же, June, 1950, p. 533; R. Eliassen and Others, там же, August, 1951, p. 615; C. P. Straub and others, там же, October, 1951, p. 773; W. J. Lacy, там же, September, 1952, p. 824; A. L. Downing and others, J. Inst. Water Engrs., vol. 6, 1952, p. 511, vol. 7, 1953, p. 555.

<sup>3</sup> См. также W. T. Bailey, J. A. W. W. A., April, 1935, p. 458; J. R. Baylis, Elimination of Taste and Odor in Water, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1935; Oscar Gullans, J. A. W. W. A., July, 1933, p. 974; J. R. Baylis and O. Gullans, там же, April, 1936, p. 507.



обработка двуокисью хлора, активированным углем, перманганатом калия<sup>1</sup>, медным купоросом, отбелной глиной<sup>2</sup>, одной известью или в сочетании ее с гидроокисью, озонирование, удаление железа и марганца и, наконец, коагулирование, отстаивание и фильтрование. Ни один из этих способов не применим для удаления всех привкусов и запахов. С привкусами и запахами, обусловленными присутствием неорганических соединений, можно бороться аэрацией или некоторыми способами химической обработки. Аэрация или обработка активированным углем особенно применимы для удаления привкусов и запахов, вызываемых растворенным газом, в то время как хлораммонизация или обработка известью<sup>3</sup> применимы при удалении фенольных привкусов. Было выяснено, что добавка приблизительно 0,25 мг/л аммиака ( $\text{NH}_3$ ) в большинстве случаев достаточна для предотвращения появления привкусов, когда за этим следует хлорирование. Теоретическое отношение количества хлора к аммиаку составляет 4 : 1 при рН=8,5 и 8 : 1 при рН=4,5. Эти отношения изменяются в зависимости от величины рН. Практика показала, что удовлетворительные результаты дают отношения от 3 : 1 до 2 : 1.

Если привкусы особенно сильны, может быть эффективным сочетание предварительного хлорирования и частичной обработки с добавкой активированного угля перед фильтрованием. При уничтожении некоторых привкусов, вызываемых микроорганизмами, эффективной является обработка перманганатом калия. Джиббонс<sup>4</sup> сообщает, что такая обработка эффективна при удалении привкусов и запахов, вызываемых растворенными нефтью, смолой, мылом и бродильными зерновыми отходами. Этот способ можно применять также в сочетании с хлорированием в такой дозе, чтобы вода, прошедшая фильтр, не имела розового цвета перманганата. Эти дозы составляют 0,2 и 0,4 мг/л.

Наиболее эффективным является перехлорирование с последующим применением активированного угля или применение только одного активированного угля<sup>5</sup>.

**11. Удаление растворенных газов.** Растворенные газы можно удалять кипячением, снижением давления и добавкой реагентов. Количество растворенных газов, кроме кислорода и азота, в естественных водах обычно уменьшается при аэрации вследствие уменьшения их парциального давления под действием воздуха.

---

<sup>1</sup> См. также A. Houston, Munic. Sanit. April, 1932, p. 148; L. L. LaShell, 5 th Ann. Rept. W. Va. Conf. on Water Purif, 1930, p. 37; L. Haines, там же, p. 35.

<sup>2</sup> См. также R. I. Dodd, J. Penna Water Works Operators' Assoc., 1932, p. 65.

<sup>3</sup> См. также J. S. Scott, 9 th Ann. Rept. Ohio, Conf. on Water Purif, 1929, p. 61.

<sup>4</sup> См. также N. J. Howard, Water Works & Sewerage, January, 1938, p. 1.

<sup>5</sup> См. также Oscar Gullans, J. A. W. W. A., January, 1937, p. 60.

Преимущества аэрации при дегазации воды заключается в следующем:

- 1) отсутствие химической обработки;
- 2) не требуется квалифицированного персонала;
- 3) простота оборудования, ввиду отсутствия движущихся частей;
- 4) постоянство минерального состава воды;
- 5) низкие эксплуатационные расходы.

При одноступенчатой дегазации количество кислорода в воде уменьшается до  $0,2 \text{ мг/л}$ , а содержание углекислоты не превышает  $2 \text{ мг/л}$ ; вследствие удаления углекислоты увеличивается рН.

Применением только аэрации содержание углекислоты нельзя уменьшить ниже  $2\text{—}5 \text{ мг/л}$ . Поэтому аэрация не предотвращает коррозии, вызываемой действием углекислоты, если щелочность воды менее  $1,6 \text{ мг-экв/л}$ . Применение аэрации для устранения коррозии, вызываемой углекислотой, обычно нежелательно, так как вводимый кислород аннулирует пользу, получаемую от уменьшения углекислоты.

Содержание углекислоты можно уменьшить применением гидроокиси кальция или бария, но так как гидроокись бария токсична, ее не следует применять для обработки питьевой воды. Количество углекислоты можно уменьшить, пропуская воду через слой дробленого известняка<sup>1</sup>. Такими слоями могут быть загружены закрытые резервуары подобно напорным фильтрам, называемые нейтрализующими фильтрами.

Сероводород не всегда можно удалить только аэрацией<sup>2</sup>. Очищенные дымовые газы, содержащие углекислоту, диффундируют первыми через воду, содержащую сероводород. Растворенная углекислота снижает рН, освобождая таким образом сероводород.

После этого удаляется аэрацией избыток углекислоты. Если образуются коллоидные сернистые соединения, их следует удалять фильтрованием во избежание образования сероводорода.

**12. Аэрация**<sup>3</sup>. Воду можно аэрировать путем:

- 1) непосредственно воздействия воздуха, например, в открытых каналах и резервуарах;
- 2) устройства водопадов, водосливов, порогов и пр.;
- 3) пропуска воды через капельные устройства, например слой кокса, и перфорированные желоба;
- 4) разбрызгивания;
- 5) барботирования воды воздухом<sup>4</sup>;

<sup>1</sup> См. также „Water Conditioning Handbook“, the Permutit, Co, 1949.

<sup>2</sup> См. также S. W. Wells, J. A. W. W. A., February, 1954, p. 160.

<sup>3</sup> См. также S. W. Wells (предыдущая сноска); P. D. Haneу, там же, April, 1954, p. 353.

<sup>4</sup> См. также F. C. Roe, Eng. and Contract Record, Apr. 14, 1937, p. 54.

6) пропускания воздуха через воду<sup>1</sup>;

7) смещения воздуха и воды под давлением для увеличения растворимости воздуха и другими способами<sup>2</sup>.

Наиболее часто применяются первые четыре способа. Два типа аэраторов показаны на рис. 136.

Широко применяются аэраторы с загрузкой коксом, как показано на рис. 136, а.

Аэрация эффективна, когда воздух движется снизу вверх против направления падающей воды. Если желательнее удалить пузырьки вовлеченного в результате аэрации воздуха, то воздух направляют из аэратора в бассейн с продолжительностью пребывания в нем воды от 15 мин. до 2 час. и с соответствующей площадью поверхности. Давление у разбрызгивающих сопел должно быть около  $0,7 \text{ кг/см}^2$ . Продолжительность пребывания в барбатерах может быть около 15 мин. при глубине резервуара 2,7—4,5 м и количестве свободного воздуха 0,4 л на 1 л обрабатываемой воды; потребность энергии составляет 0,26 квт на 1 000 м<sup>3</sup> суточной производительности.

Иногда применяется аэрация под давлением. В этом случае вода подается насосом в верхнюю часть закрытого резервуара, в который нагнетается также воздух с таким расчетом, чтобы поддерживался постоянно заранее установленный уровень воды в

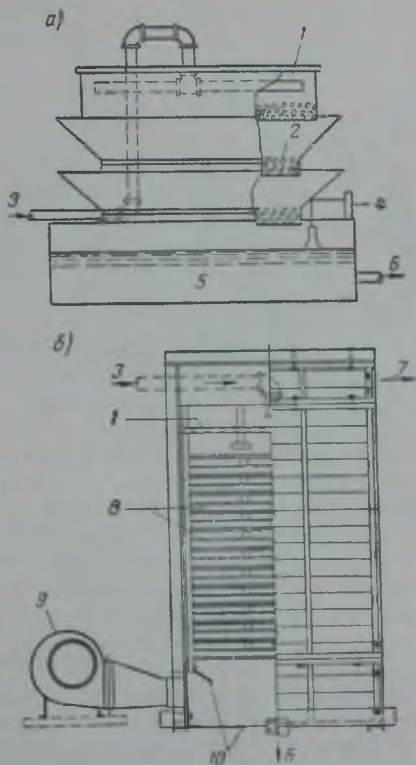


Рис. 136. Аэраторы

а — аэратор с коксовой загрузкой (по материалам фирмы Permutit Co);  
б — аэратор Инфилко с искусственной тягой (по материалам фирмы Infilco)

1 — распределительный желоб; 2 — кокс; 3 — вход сырой воды; 4 — поплавковый выключатель; 5 — резервуар аэрированной воды; 6 — выпуск аэрированной воды; 7 — выпуск воздуха; 8 — насадка на пластин; 9 — нагнетательный вентилятор; 10 — отражательные перегородки для воздуха

<sup>1</sup> См. также Н. Л. Kaufman, J. A. W. W. A., vol. 25, 1925, p. 1030.

<sup>2</sup> См. также F. E. Hale, там же, 1932, p. 1401; M. Flentje, там же, June, 1937, p. 872; R. McNamee, Univ. Mich. Eng. Research Bull. 16, June, 1930.

резервуаре. Преимущество такой установки заключается в том, что отпадает необходимость во втором подъеме, но степень аэрации приходится регулировать во избежание переаэрации при обычном атмосферном давлении.

Эффективность работы аэраторов можно выразить в проценте удаленной углекислоты. Однако этот показатель не всегда является удовлетворительным, так как чем выше первоначальное содержание углекислоты, тем выше эффективность аэратора в процентах<sup>1</sup>.

13. **Деаэрация.** Воду можно деаэрировать для уменьшения ее коррозионности<sup>2</sup>. Деаэрация может оказаться экономичнее устранения коррозионности путем применения реагентов. Способы удаления растворенного кислорода следующие:

1) пропускание под давлением воды через закрытые резервуары, загруженные железным ломом<sup>3</sup>, с последующим фильтрованием через песок;

2) образование гидрата закиси железа в воде путем добавки железного купороса и гидроокиси кальция или натрия;

3) добавка сернистоокислого натрия;

4) кипячение воды;

5) воздействие на воду вакуумом<sup>4</sup>.

При любом из этих способов поверхность воды должна быть изолирована от атмосферы для предотвращения быстрого повторного поглощения кислорода. В двух последних способах освобождающийся кислород следует быстро удалять для предотвращения повторного поглощения. Этими двумя способами можно удалить не более 95% растворенного кислорода. Химическими способами можно полностью освободить воду от растворенного кислорода. Экономичным может быть сочетание механических способов для удаления 95% кислорода с последующей химической обработкой<sup>5</sup>. Добавка сернистоокислого натрия при хозяйственно-питьевом водоснабжении нежелательна, если она не осуществляется под контролем компетентных специалистов, ввиду токсичности этого реагента.

14. **Активированный уголь**<sup>6</sup>. Активированный уголь получается путем нагрева древесного угля [65] в закрытой реторте в атмосфере углекислого газа, воздуха, пара или хлора. Иногда могут добавляться химические вещества, такие как фосфорная кислота или хлористый цинк. Благодаря такой «активации» значительно возрастает способность угля поглощать газы. Акти-

<sup>1</sup> См. также „Water Conditioning Handbook“, см. сноску на стр. 332.

<sup>2</sup> См. также S. T. Powell and others, J. A. W. W. A., July, 1946, p. 808.

<sup>3</sup> См. также F. N. Speller, Trans. Am. Soc. Heating Ventilating Engrs., vol. 23, 1917, p. 125.

<sup>4</sup> См. также S. T. Powell, Water & Sewage Works, March, 1946, p. 93.

<sup>5</sup> См. также D. J. Pyle, J. A. W. W. A., November, 1947, p. 1121.

<sup>6</sup> См. Specifications, там же, February, 1951, p. 161.



вированные угли различаются между собой в зависимости от применяемого сырого материала и процесса активации. Уголь дает хорошие результаты при газопоглощении и не дает необходимого эффекта при обработке жидкостей<sup>1</sup>. Большинство активированных углей, применяющихся при очистке воды, представляет собой патентованные продукты, продающиеся под названиями дарко, минчар и нучар. Испытание качества активированного угля заключается в физическом определении его способности удалять запахи и привкус. Для этой цели предлагаются три метода: определение фенольного числа; определение иодного числа; испытание по «порогу поглощения» запаха.

Испытание по определению фенольного числа<sup>2</sup> характеризует способность активированного угля поглощать фенол. Так как угли в высшей степени селективны, испытание может не дать показателя, характеризующего свойства угля поглощать другие запахи. Бейлис предлагает считать удовлетворительным активированный уголь, дающий фенольное число не более 35 мг/л. Пределы поглощения, на которые способен активированный уголь, указаны Фрейндлихом<sup>3</sup>.

При определении иодного числа определенная порция активированного угля «встряхивается» в течение заданного времени раствором, содержащим определенное количество по весу иода. Количество поглощенного иода является показателем способности угля поглощать запах. Испытание это просто, но оно еще меньше, чем определение фенольного числа, может характеризовать качество угля. Испытание по «порогу поглощения» запаха<sup>2</sup> трудно проводить, но оно позволяет непосредственно определить наиболее желательные свойства активированного угля.

Объемный вес хорошего активированного угля составляет 160—180 кг/м<sup>3</sup>; уголь должен содержать не менее 90% чистого углерода и не более 6% его остается на сите в 200 меш. Активированный уголь транспортируется в мешках весом 34 кг. При условии транспортирования в вагонах по 15 т в каждом стоимость угля составляет 11 центов за 1 кг. Стоимость обработки в 1950 г. колебалась от 10 до 25 центов за 1000 м<sup>3</sup>.

**15. Применение активированного угля.** Активированный уголь применяется при очистке воды главным образом для устранения привкусов и запахов, вызываемых растворенными газами. Активированный уголь оказался также эффективным при коагулировании, обесцвечивании, уничтожении водорослей, предотвращении или замедлении разложения осадка в отстойниках

<sup>1</sup> См. также D. Colebaugh and others, *Water & Sewage Works*, April, 1952, p. R-101.

<sup>2</sup> См. также J. R. Bayliss, *Water Works & Sewerage*, June, 1933, p. 220; F. R. Theroux and others, *Laboratory Manual for Chemical and Bacterial Analysis of Water and Sewage*, 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1943.

<sup>3</sup> См. дискуссию в „*Water Quality and Treatment*“, p. 160. Manual American Water Works Association, 1940.



и уменьшении потребности в хлоре обрабатываемой воды. Он облегчает обработку воды и ускоряет продолжительность рабочего цикла фильтров, увеличивая мутность и улучшая отстаивание микроорганизмов. К числу преимуществ активированного угля можно отнести и отсутствие необходимости в добавке каких-либо химических реагентов, так как уголь не проходит через фильтр; поэтому нет опасности преувеличения дозы активированного угля, и избыточное хлорирование проводится легче<sup>1</sup>. Если добавляется порошкообразный активированный уголь перед скорым фильтром в количестве менее 5 мг/л, то продолжительность рабочего цикла фильтра, как правило, не уменьшается<sup>2</sup>, но в некоторых случаях она уменьшается на 50%.

При удалении привкусов и запахов из воды с помощью активированного угля его можно добавлять непосредственно в воду в виде сухого порошка в одной или нескольких точках до фильтрования или отстаивания. Можно также отфильтрованную воду пропускать через слой активированного угля<sup>3</sup>. Если применяется сухой порошок, его можно добавлять в воду до фильтрования. Можно также его добавлять вместе с другими реагентами, например сернокислым алюминием.

Активированный уголь можно хранить и добавлять в воду также в виде суспензии в консистенции около 150 г угля на 1 л воды. Количество угля в суспензии можно быстро узнать, определив удельный вес суспензии и проверив содержание угля по заранее калиброванной кривой<sup>4</sup>.

Угольную суспензию можно добавлять в воду перед коагулированием, одновременно с ним или после него, в нескольких точках. Чаще всего добавляют угольную суспензию до коагулирования. Добавку угля необходимо регулировать таким образом, чтобы небольшая его часть доходила до фильтра. Желательно временами «встряхивать» фильтр вскоре после промывки или после добавления угля, чтобы уголь прошел в поры между песчинками загрузки фильтра. Доза угля колеблется от 1 до 100 мг/л; практически она составляет 2,4—3,0 мг/л.

При подаче сухого активированного угля необходимо придерживаться следующих правил:

1) уголь следует дозировать в отдельном помещении с целью предотвращения распространения пыли;

2) дозирующий механизм должен иметь достаточную производительность вследствие широких колебаний нагрузки, которые бывают на большинстве установок;

<sup>1</sup> См. также E. A. Sigworth, J. A. W. W. A., vol. 29, p. 688, 1937, там же January, 1934, p. 6.

<sup>2</sup> См. также M. M. Gibbons, Eng. News-Record, Mar, 17, 1932, p. 391.

<sup>3</sup> См. также "Taste and Odor Control in Water Purification", chap. 7, Industrial and Chemical Sales, New York, 1907.

<sup>4</sup> См. также J. T. Cross, Pure Water, November, 1949, p. 162; J. K. Baylis, Taste Odor Control, March., 1950; J. A. W. W. A., December, 1952, p. 1161.

3) следует обеспечить подачу воды в достаточном количестве во избежание закупорки труб шламом при транспортировке суспензии к месту дозирования;

4) концентрация угля в суспензии должна составлять около 4%.

Для подачи суспензии можно применять резиновые или стальные трубы.

При хранении активированного угля необходима осторожность, так как он готовится в виде очень мелкого порошка и при соединении с воздухом может образовать взрывчатую смесь. При хранении угля в помещении с высокой влажностью может произойти возгорание угля. Объем помещения для хранения должен быть 1,1—4,25 м<sup>3</sup> на 1 т угля. Хранение угля в виде суспензии не дает пыли, исключает возможность пожара и не влияет на поглощательные свойства угля.

**16. Микрофильтрация**<sup>1</sup>. Обработка воды микрофильтрацией дает возможность удалять некоторые микроорганизмы и мелкие взвешенные вещества. Микрофильтрующая ткань, наиболее часто применяемая, имеет около 80 000 отверстий на 1 дюйм<sup>2</sup> с номинальными размерами около 35μ. Фильтры устраиваются в виде цилиндра, почти полностью погруженного в обрабатываемую воду и вращающегося на горизонтальной оси. Изготавливаются микрофильтры пропускной способностью до 40 000 м<sup>3</sup>/сутки. В Англии имеется много установок, где эти фильтры оказались удобными в сочетании с медленными песчаными фильтрами, как устройства для полной обработки воды.

**17. Фильтры Пье-Шабаль**. При фильтрации по системе Пье-Шабаль вода пропускается с постепенно уменьшающейся небольшой скоростью через ряд самотечных фильтров типа медленных с постепенно уменьшающейся крупностью загрузки. Такие фильтры применяются почти исключительно только во Франции. Хотя качество воды получается отличное, но первоначальная стоимость фильтров очень высока и они дают значительную потерю напора.

**18. Фильтры с взвешенным (дрейфующим) песком и магнетитовые**. Эти фильтры представляют интерес только с исторической точки зрения, так как в настоящее время они не применяются. Единственный, работавший до последнего времени фильтр с взвешенным песком в Торонто, штат Онтарио<sup>2</sup>, был запрещен. Магнетитовый песчаный фильтр<sup>3</sup> работает подобно медленному песчаному фильтру. Когда потеря напора в фильтре достигает определенного предела, песок фильтра промывается без выключения фильтра под действием электромагнитов с откачкой промывной воды циркуляционным насосом поверх слоя. Магнети-

<sup>1</sup> См. также P. L. Boucher, Inst. Water Engrs, Scottish Section, Apr. 6, 1951; A. W. Consoer, Eng. News-Record, Apr. 9, 1953, p. 36; R. Hazen, J. A. W. W. A., July, 1953, p. 723.

<sup>2</sup> См. G. G. Nasmith, Can. Engr., Apr. 8, 1915.

<sup>3</sup> См. S. I. Zack, Water Works & Sewerage, June, 1937, p. 201.

товый песок под действием электромагнитов взмучивается и промывается при опускании его на поверхность слоя через циркулирующую промывную воду. Грязная промывная вода насосом сбрасывается в сток. Промывное приспособление с электромагнитами движется вдоль фильтра, промывая и перемещая песок без выключения фильтра.

**19. Диатомитовые фильтры.** Диатомитовые фильтры для обработки воды впервые начали применяться во время второй мировой войны<sup>1</sup>.

В настоящее время они применяются главным образом для специальных производственных процессов, в купальных бассейнах и в других случаях относительно небольшого водопотребления. Для городского водоснабжения они почти не применяются<sup>2</sup>. К преимуществам диатомитовых фильтров для питьевой воды относится их меньший объем по сравнению с обычными скорыми песчаными фильтрами самотечного типа или по сравнению с напорными фильтрами. Диатомитовый фильтр работает под давлением, т. е. имеет преимущество скорого песчаного напорного фильтра. Он эффективен в отношении удаления бактерий; при правильном устройстве и правильной эксплуатации он удаляет клетки *E. histolytica* и, возможно, другие организмы, на которые не действует хлорирование.

При работе<sup>3</sup> вода поступает на дно фильтра (рис. 137); в воде содержится вспомогательный фильтрующий порошок во взвешенном состоянии. Вспомогательный порошок, приготовленный из диатомитовой земли, откладывается на поверхности пористых цилиндров в то время, как вода проходит через них к выпускному отверстию. Когда потеря напора достигает приблизительно 1,5—15 м, направление движения воды через фильтр быстро изменяется для смывания осадка вспомогательного фильтровального порошка с цилиндров. Грязная вода и осадок смываются в сброс, а сырая вода, содержащая вспомогательный порошок, пропускается через фильтр, который продолжает работать.

Скорость фильтрования в значительной степени зависит от качества обрабатываемой воды, ее предварительной обработки, качества вспомогательного фильтровального порошка и других условий. Можно принимать нагрузку на фильтр 1—15 галл/мин на 1 фут<sup>2</sup> площади фильтра (скорость фильтрования 2,5—38 м/час), но удовлетворительные результаты можно получить при нагрузке 2—3 галл/мин на 1 фут<sup>2</sup> (скорость фильтрования 5—7,5

<sup>1</sup> См. Н. Н. Black and C. H. Spaulding, J. A. W. W. A., November p. 1208; Military Water Supply and Purification, War. Dept. Tech. Manual TM. 295, August, 1945.

<sup>2</sup> См. также E. R. Baumann, and H. E. Babbitt, Water Works Eng., June, 1953, p. 526; J. K. Fraser, J. A. W. W. A., February, 1954, p. 151.

<sup>3</sup> См. также Water Works Eng., January, 1954, p. 47.

м/час). Расход вспомогательного порошка составляет 95—120 кг на 1 000 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды.

20. Химические средства борьбы с коррозией металлов. Коррозия металлов описана в главе V. Там было указано, что коррозионность воды может быть уменьшена:

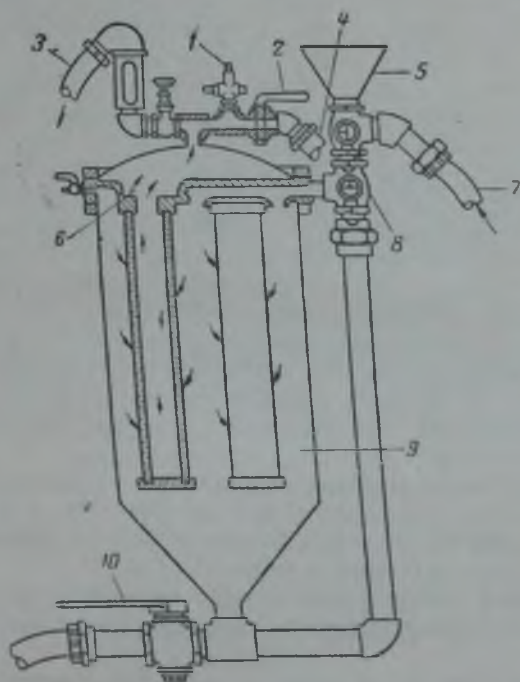


Рис. 137. Диатомитовый фильтр

1 — кран для взятия пробы; 2 — клапан обратной промывки; 3 — выпуск фильтрованной воды; 4 — впуск воды для обратной промывки; 5 — воронка для вспомогательного фильтрующего порошка; 6 — профильтрованная вода; 7 — выпуск сырой воды; 8 — впускная задвижка сырой воды; 9 — сырая вода; 10 — выпускной клапан обратной промывки

1) путем регулирования карбонатного баланса воды, чтобы на металлических поверхностях откладывалась карбонатная пленка для защиты металла от электролита;

2) путем увеличения рН воды<sup>1</sup>, т. е. уменьшением концентрации водородных ионов для замены металлических ионов, освобождающихся из металла;

3) путем деаэрации воды, чтобы кислород<sup>1</sup> не мог взаимодействовать с защитной пленкой водорода, образуемого действием электролита;

<sup>1</sup> См. также Т. Е. Larson and R. M. King, J. A. W. W. A., Jan. 1, 1954, p. 1.

4) путем создания защитного покрытия из силиката натрия.

**21. Силикат натрия**<sup>1</sup>. Добавление силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$ ) к коррозионным водам препятствует коррозионному действию их на большинство металлов, применяемых в водопроводных сооружениях<sup>2</sup>. Этот материал чаще всего применяется в промышленных водопроводах и при горячем водоснабжении, но не в городском водоснабжении. При дозе 20—30 мг/л образуется покрытие из силиката натрия, которое можно затем поддерживать при обычных дозах около 4 мг/л. Если pH обрабатываемой воды ниже 6,0, то можно использовать более щелочной раствор жидкого стекла ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ ).

Применение силиката натрия наиболее эффективно в присутствии солей кальция и магния. Для образования первого защитного слоя следует добавлять достаточное количество силиката (15—30 мг/л) с целью увеличения гидратной щелочности. Для последующего поддержания защитного слоя в трубах холодной и горячей воды достаточна добавка 5—10 мг/л. Добавку силиката натрия при городском водоснабжении следует производить с особой тщательностью, так как избыточное количество, увеличивая щелочность до 2 мг-экв/л и более, дает привкус и обесцвечивает пищу при кипячении; при использовании такой водой для умывания получается ощущение маслянистости воды.

**22. Стабилизационная обработка.** Применение фосфата натрия или гексаметафосфата натрия ( $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ ) в концентрации 0,5—1,0 мг/л, как указано в п. 30 главы XIV, оказалось эффективным и для предотвращения коррозии<sup>3</sup>.

Тщательное регулирование дозы не требуется, но слишком большие концентрации могут быть скорее вредными, чем полезными.

Стабилизационной обработкой предотвращается осаждение карбоната кальция, так как гексаметафосфат натрия адсорбируется на зачаточных кристаллах карбоната кальция, препятствуя их укрупнению.

Эффективность стабилизационной обработки для предотвращения коррозии сомнительна. Такое сомнение выражает Комитет американской водопроводной ассоциации<sup>4</sup>, сообщая, что «стабилизационная обработка (threshold) почти всегда исключает или по меньшей мере уменьшает до минимума внешнее проявление коррозии» и добавляет: «взаимно исключающие доказательства не создают определенного мнения, действительно ли метафосфат пре-

<sup>1</sup> См. также L. Lehman and H. L. Schuldener, там же, March 1951, p. 175.

<sup>2</sup> См. также W. Stricker, Ind. Eng. Chem., August, 1945, p. 716.

<sup>3</sup> См. также Owen Rice J. Penna, Water Works Operators, Assoc. vol. 12, 1940, p. 110.

<sup>4</sup> См. Committee Report, там же, December, 1942, pp. 1807, 1826.



предотвращает действительную коррозию металлов». Палло<sup>1</sup> добавляет, что при небольшой скорости движения воды (до некоторой критической скорости) интенсивность образования коррозии в трубопроводах с обработанной водой выше, чем в трубопроводах с необработанной водой.

**23. Карбонатное равновесие.** Из воды, содержащей карбонатную жесткость, может откладываться защитная карбонатная пленка на металле, подверженном действию воды, если уменьшается содержание углекислоты в воде. Если содержание кислоты увеличивается, вода может растворять карбонат кальция. Образующаяся пленка карбоната кальция защищает металлы от коррозии. Слишком большая интенсивность отложения карбоната нежелательна, так как он может забить трубы. Для предотвращения как забивания, так и коррозии должно сохраняться определенное карбонатное равновесие, которое изменяется в зависимости от pH, температуры и других свойств воды. Его можно определить путем лабораторных испытаний.

**24. Показатели карбонатного равновесия Ланжелье и другие.** Ланжелье<sup>2</sup> предложил уравнение для выражения pH, при котором вода должна быть равномерно насыщена карбонатом кальция<sup>3</sup>.

$$pH_s = (pK_2 - pK_3) + pCa + pAlk, \quad (XVI.11)$$

где  $pH_s = pH$ , которое вода должна иметь при равновесии с  $CaCO_3$ ;

$pK_2$ ,  $pK_3$  — отрицательные логарифмы второй константы диссоциации углекислоты и соответственно активности  $CaCO_3$ ;

$pCa$  — отрицательный логарифм молярной концентрации  $Ca$ ;

$pAlk$  — отрицательный логарифм эквивалентной концентрации титруемого основания [66].

Показатель насыщения получается как разность  $pH_s - pH$ . Отрицательный показатель указывает, что вода недонасыщена карбонатом кальция. Положительный показатель указывает обратное.

Пользование показателем Ланжелье удобно при вычислении необходимой дозы известки для получения равновесия. Небольшие затруднения в отношении коррозии испытываются при холодной воде, если показатель имеет значение между  $-0,5$  и  $0$  и при горячей воде, если выражается положительной величиной. Хотя по-

<sup>1</sup> P. E. Pallo, Committee Report, April, 1946, p. 469.

<sup>2</sup> W. F. Langelier, там же, October, 1936, p. 1500.

<sup>3</sup> См. также „Water Supply and Treatment“ National Lime Association, Washington, D. C., 1951, p. 197; Water Works Eng., Nov. 13, 1946, p. 1345; C. P. Hoover, J. A. W. W. A., November, 1948, p. 1802—номограммы, которые очень упрощают решение формулы Ланжелье.

казателем Ланжелье пользуются более широко, чем другими показателями коррозии, все же он не всегда надежен, вследствие образования мягкого, объемистого, пористого или другого нежелательного осадка, а также образования изоляционного слоя на теплообменных поверхностях и на хозяйственно-бытовом производственном оборудовании; неопределенности выпадения осадка при температурных изменениях в воде и невозможности образования осадка, несмотря на положительное значение показателя.

Некоторые затруднения, возникающие вследствие присутствия органического вещества в воде, можно устранить хлорированием или предварительной обработкой для удаления органического вещества. Ларсон и Бусвелл<sup>1</sup> показали, что любой общей щелочности соответствует значение рН, при котором показатель насыщения и соответственно скорость образования осадка не зависят от температуры. Такие величины рН для температур 27—32° указаны в табл. 57.

Таблица 57

Значения щелочности рН, при которых температура не оказывает влияния на количество отлагающегося осадка\*

Щелочность в мг-экв/л	1	2	3	4
Фактическая рН, "холодной воды . . . . .	8,10—8,65	8,60—9,20	8,90—9,50	8,90—9,70

\* Из S. T. Powell and others, J. A. W. W. A., July, 1946, p. 808.

Другие показатели коррозии приводятся в литературе; к ним относятся показатель стабильности Риднара<sup>2</sup>, Мак-Лафлина<sup>3</sup>, «мраморное испытание» по Гуверу<sup>4</sup> и индикатор непрерывной стабильности Энслоу<sup>5</sup>.

**25. Химическое регулирование рН.** Известь является реагентом, который чаще всего применяется для регулирования рН с целью устранения коррозии, т. е. для получения карбонатного равновесия или уменьшения концентрации имеющихся водородных ионов (для замещения металлических ионов).

Другие щелочные соединения, такие как гидроксиды натрия или калия, не оказывают влияния на жесткость воды, но их стоимость настолько высока по сравнению со стоимостью извести, что

<sup>1</sup> T. E. Larson and A. M. Buswell, J. A. W. W. A., vol. 34, 1942, p. 1667.

<sup>2</sup> См. там же, April, 1944, p. 472.

<sup>3</sup> См. Proc. 10th Ann. Conf. on Water Purif., W. Va, State Univ., Techn. Bull. 8, Apr. 15, 1936, p. 19.

<sup>4</sup> См. C. P. Hoover, J. A. W. W. A., vol. 30, 1938, p. 1802.

<sup>5</sup> L. H. Enslow, Water Works & Sewerage, v 86, 1039, p. 107.

их применение в системах городского водоснабжения неэкономично.

**26. Химическое образование карбонатных покрытий.** На металлах можно образовать защитные покрытия путем регулирования рН для отложения покрытия из карбоната кальция. С этой целью нужно добавить силикат натрия для получения реакции между веществами, входящими в состав воды, и металлом. Добавка силиката натрия к воде описана в п. 21 настоящей главы.

Примером образования защитных покрытий вследствие реакции между веществами, входящими в состав воды, и металла служит отложение гидроокиси железа, образуемой в результате реакции между железом и растворенным кислородом. Подобно этому, свинец взаимодействует с некоторыми жесткими водами, в результате чего образуется основной свинцовый карбонат, который откладывается на стенках свинцовой трубы и замедляет дальнейшую коррозию. Такие естественно образуемые покрытия важны для защиты многих трубопроводов, и в некоторых случаях следствием обработки воды является разрушение труб, так как обработанная вода растворяет эти покрытия.

**27. Предотвращение образования карбонатного осадка с помощью серной кислоты.** Добавка серной кислоты к воде эффективна в отношении уменьшения образования осадка, если в воде содержится гипса (сульфата кальция) менее 1700 мг/л. Кислота превращает менее растворимые карбонаты в более растворимые сульфаты, предотвращая таким образом их отложение и образование осадка. Количество используемой кислоты должно быть достаточным для уменьшения щелочности до 0,7 мг-экв/л. Этот способ применяется только при обработке воды для предотвращения образования осадка вследствие карбонатной жесткости. Для питьевой воды этот способ непригоден.

**28. Хлорирование с целью устранения коррозии.** Коррозионное действие бактерий рассматривается в п. 7 главы V. Добавка хлора может увеличить, а не уменьшить деятельность бактерий. Если хлор добавляется к воде, содержащей органические вещества, то он взаимодействует с ними до проявления бактерицидного эффекта и, возможно, разрушая органическое вещество, образует пищу для последующего роста бактерий. Добавка аммиака с хлором замедляет расходование хлора, обеспечивая попадание его в отдаленные участки распределительной системы, где бактерицидное влияние длится дольше.

На ряде примеров применения аммиака доказано увеличение коррозии в некоторых частях распределительной системы, возможно, из-за того, что, когда хлор окончательно истощается, остающаяся часть аммиака служит пищей для нежелательных бактерий. При таких условиях необходимо прекратить добавку аммиака, изменить условия его добавки, изучить эффективность действия медного купороса или испробовать другие способы предотвращения коррозии.

**29. Коррозия, вызываемая горячей водой.** Горячая вода более коррозионна, чем холодная; коррозионные свойства воды при нагреве значительно изменяются, и методы устранения коррозионности горячей воды несколько отличаются от применяемых для холодной воды. Вода с рН 7,5—8,0 может быть мало коррозионной по отношению к стали при температуре 10—15°, но становится активно коррозионной при температуре 50—65° или выше; наибольшее же коррозионное действие появляется при температуре 90—100°. Полная деаэрация воды с нагревом до высокой температуры значительно уменьшает ее коррозионность. Однако Гувер<sup>1</sup> пришел к заключению, что некоторые воды с высоким рН и лишенные растворенного кислорода могут быть при нагреве в высшей степени коррозионны. Вообще, желательнее поддерживать возможно малый отрицательный или положительный показатель Ланжелье или низкий показатель стабильности скорее в горячей, чем в холодной воде, вследствие более высокой растворимости карбоната в горячей воде.

**30. Охлаждение воды.** Охлаждение воды применяется главным образом в производственном водоснабжении. Охлаждение воды может производиться<sup>2</sup> в испарительных устройствах — брызгальных бассейнах, градирнях с естественной тягой, градирнях с искусственной тягой и охладителях с сухой поверхностью или в воздухоохлаждаемых теплообменниках. В брызгальных бассейнах испаряется около 1% воды. Вода охлаждается примерно на 5,5—8,0°.

**31. Обработка охлаждающей воды.** Главной целью обработки охлаждающей воды является предотвращение выпадения осадка и, возможно, удаление масла. Основными способами обработки являются умягчение и применение серной кислоты. Если выпадение осадка или образование отложений является результатом не жесткости воды, а других ее свойств, то может потребоваться такая обработка, как удаление железа и марганца, удаление сероводорода или дезинфекция.

**32. Влияние изменения рН на цинк и медь.** Общеизвестно, что чем выше рН воды, тем менее коррозионна она по отношению к железу, но это не совсем верно по отношению к цинку и меди. Мур<sup>3</sup> доказал, что потеря цинка из латуни (обесцинкование латуни) уменьшается по мере возрастания рН от 6,0 до 10,0 и затем увеличивается опять при увеличении рН до 11,0; установлено также, что скорость выделения меди из латуни обратно пропорциональна скорости выделения цинка и что защитные пленки замедляют потерю цинка при рН 7,5—9,5.

<sup>1</sup> C. P. Hoover, J. Penna, Water Works Operators, Assoc. vol. 9, p. 106; Water Works & Sewerage, vol. 83, 1936, p. 384.

<sup>2</sup> См. также H. E. Degler, Conference on Water Resources, Illinois State Water Survey, Bull. 41, 1952, p. 135.

<sup>3</sup> E. W. Moore, J. New. Engl. Water Works, Assoc., 1934, p. 47.



# ПРИМЕЧАНИЯ К РУССКОМУ ПЕРЕВОДУ

## Глава I

1. Стр. 13. Т. е. по формуле сложных процентов, как это ранее было принято и у нас.
2. Стр. 19. В оригинале «Tapk».
3. Стр. 20. Так в оригинале.

## Глава II

4. Стр. 29. В оригинале «Aqueducts». В английской литературе этим термином называется сооружение для транспортирования воды от источника водоснабжения до объекта водоснабжения. Этот термин переводится как водовод. У нас акведуком принято называть только один из типов водовода, а именно — самотечный канал, устраиваемый на опорах ( на эстакаде) в месте пересечения лощин, оврагов и пр.
5. Стр. 29. В оригинале «flumes», что значит лотки, желоба, каналы.
6. Стр. 35. Значения *L* и *A* не расшифрованы.
7. Стр. 37. В оригинале: «Quantity sec-ft».

## Глава III

8. Стр. 56. В оригинале «Deflection».
9. Стр. 57. На самом деле стальные трубы и в США очень часто укладывают в грунте, принимая меры к их сохранности (изоляция).
10. Стр. 58 и 62. При колебании температуры от 1 до 25° температурные перемещения железобетонных трубопроводов, как показывает опыт, могут быть значительными. Поэтому, хотя специальные компенсаторы на железобетонных трубопроводах не устанавливаются, но стыки труб должны обладать известной компенсационной способностью, чтобы воспринимать эти перемещения.
11. Стр. 62. Обращает внимание некоторое противоречие. Здесь говорится, что «низкая прочность на изгиб может привести к повреждению при транспортировании труб», а несколькими строками выше указывается, что трубы «легко транспортируются почти без риска повреждения их во время перевозки». Как известно, одним из недостатков асбестоцементных труб является опасность их повреждения при перевозках.
12. Стр. 63. Приспособление, позволяющее производить резку под определенным углом.

## Глава IV

13. Стр. 70. В английской литературе клапанами (valve) называются все запорные устройства, в то время как нашей терминологией различаются задвижки, клапаны, затворы, вентили. В переводе, где это возможно, выдержана наша терминология.
14. Стр. 70. Описание устройства и рисунки шиберных задвижек исключены, поскольку конструкции их в основном не отличаются от принятых у нас. Оставлены только задвижки для бесколесной установки и быстрооткрывающиеся.
15. Стр. 77. Это приспособление у нас носит название редукционного клапана.
16. Стр. 78. Такие клапаны, устанавливаемые на подающем трубопроводе, но действующие по совершенно другому принципу, называются у нас поплавковыми клапанами. В оригинале они названы «Altitude — control valve».



17. Стр. 81. Рис. 49 помещен в главе «Плотины», которая при переводе полностью исключена. Поскольку в данной главе имеется ссылка и на этот рисунок, он помещается в переводе.

18. Стр. 82. Рис. 53 также помещен в главе «Плотина» и приводится здесь потому, что на него имеется ссылка в настоящей главе.

19. Стр. 86. Нутация — значит гироскоп (жироскоп); этим словом, видимо, характеризуется то, что диск, подобно гироскопу, вращается вокруг своей оси симметрии, опирающейся одним концом на плоскость.

20. Стр. 88. Такое приспособление описано, например, в журнале «Водоснабжение и санитарная техника» № 9 за 1955 г.

## Глава V

21. Стр. 102. Этот поршень, называемый дегидратором, имеет вид артиллерийского снаряда с одним конусообразным или шарообразным концом. В стенках цилиндра имеется большое число отверстий, через которые просачивается цементное молоко при протаскивании дегидратора через трубопровод.

22. Стр. 102. Нужно, видимо, понимать не до 16", а больше 16". Во всей литературе США имеется указание, что при помощи машины могут облицовываться трубы диаметром не до 16", а свыше 20" и даже 24". Облицовка труб диаметром до 16" невозможна, потому что вместе с машиной в трубопроводе должен находиться человек. Лишь в последнее время появились машины для облицовки труб диаметром менее 16", управляемые с поверхности земли.

## Глава VI

23. Стр. 103. В соответствии с установленной у нас терминологией принят термин «регулирующий резервуар»; в США такие резервуары называют «распределительными» (distributing).

24. Стр. 103. Т. е. регулирующая емкость.

25. Стр. 104. Описываемый способ определения регулирующей емкости резервуара не отличается от принятого у нас способа с применением интегральных графиков. Имеется лишь незначительное отличие в порядке пользования этим способом.

26. Стр. 105. На рисунке касательная в точке 2 на самом деле не проведена, что объясняется, возможно, желанием авторов не затемнять чертежа. По существу в проведении этой касательной нет и необходимости, так как емкость резервуара непосредственно определяется вертикальным расстоянием (разностью ординат) между первой касательной и кривой водопотребления.

27. Стр. 108. Этот раздел правильнее было бы назвать «Бетонные и железобетонные резервуары», так как в нем идет речь только об этих резервуарах, главным образом железобетонных. В нашем понимании к резервуарам из каменной кладки относятся в основном кирпичные и бутовые резервуары.

28. Стр. 112. В оригинале этот раздел назван Elevated reservoirs, что можно перевести как «Возвышенные резервуары» или «Приподнятые резервуары». Далее в тексте оригинала говорится, что эти «возвышенные резервуары» могут быть двух типов «Standpipes» и «Elevated tanks». Standpipe можно перевести, как «стояк» или, как у нас принято называть, «водонапорная колонна».

Elevated tank можно перевести как возвышенный резервуар. В нашем понимании возвышенным резервуаром обычно называется подземный или наземный резервуар, располагаемый на возвышенности.

Ввиду неясности такой терминологии в переводе принята следующая терминология. «Standpipe» называется водонапорной колонной, а «Elevated tank» — собственно водонапорной башней. Далее следует указать, что водонапорной колонной у нас принято называть резервуары, у которых высота значительно превышает диаметр. В американской же литературе «Standpipe» называются и такие резервуары, у которых высота примерно равна диаметру или лишь немного превышает его (см., например рис. 69, 70).

Вообще основанием для указаний терминологии можно было бы считать следующий принцип: водонапорной колонной можно считать такое сооружение, в котором резервуар располагается непосредственно на фундаменте, а собственно водонапорной башней — сооружение, в котором резервуар располагается на башенной опоре.

29. Стр. 115. Это требование не подтверждается практикой, и в особенности по отношению к водонапорным колоннам, так как у многих водонапорных колонн высота значительно превышает диаметр: в частности, в данной книге водонапорная колонна, показанная на рис. 70, имеет высоту большую, чем диаметр.

30. Стр. 116. В подлиннике: «iron rust».

## Глава VII

31. Стр. 125. Первые три пункта настоящей главы перенесены в нее из главы «Гидравлика» как имеющие непосредственное отношение к расчету сети. В остальной главе «Гидравлика» содержит только элементарные сведения по гидравлике, а также общеизвестные формулы, например Куттера, Вейсбаха, Дарси и др., не применяющиеся для расчета сети ни у нас, ни в США.

32. Стр. 128. В оригинале написано «Поскольку  $V$  и  $Q$  изменяются прямо пропорционально величине  $C$ , номограммой на рис. 80 можно пользоваться при  $C=100$ ». Исходя из существа дела и приводимого далее примера, нужно считать, что в этой фразе авторами допущена ошибка.

33. Стр. 128. Более точные значения по номограмме  $H=2,2$  и  $V=2,45$ .

34. Стр. 129. Здесь, видимо, допущена ошибка. Нужно или  $50 \times 2,31 = 115,5$  фут. на 1 000 фут. или  $50 \times \frac{2,31}{1009} = 0,1155$  фута на 1 фут.

35. Стр. 129. Для определения расхода по номограмме рис. 80 нужно приложить линейку таким образом, чтобы ее край проходил через точку 115 футов на третьей шкале и точку 8" на второй шкале. Ответ получается на первой шкале, но не 2 000 галл/мин., а около 3 000 галл/мин. Это, видимо, свидетельствует о том, что по данной номограмме очень трудно получить точные результаты.

36. Стр. 130. В оригинале указаны системы «circle» (кольцевая), «gridiron» (в виде прямоугольной сетки) и «tree» (разветвленные). У нас кольцевыми принято называть также и системы в виде прямоугольной сетки.

37. Стр. 135. В приведенном описании способа расчета сети Харди-Красса имеется много неясностей, затрудняющих понимание этого способа.

Предлагаемый порядок расчета также нельзя признать достаточным стройным.

1. Авторы рекомендуют пронумеровать контуры римскими цифрами. На самом же деле этого не сделано. Кроме того, конфигурация схемы, приведенная авторами на рис. 84, не соответствует длинам участков, указываемым в табл. 28.

2. Порядок нанесения на схеме (арабскими цифрами в скобках) номеров участков мало понятен. Так, например, номер 1 линии  $AB$  помещен в середине линии, а номера всех других линий — в узлах, причем очень трудно понять, к какой из линий относится номер — к горизонтальной или вертикальной. Номера 12 на схеме вообще нет.

Обращает внимание неудачное назначение диаметров в зависимости от расходов. Так, диаметр линии  $D-E$  с расходом в 400 галл/мин принят 8", а диаметр линии с расходом 700 галл/мин — 6"; диаметр линий  $E-F$  и  $F-I$ , как в той так и другой, принят — 8", в то время как по первой линии проходит 500 галл/мин, а по другой 900 галл/мин; диаметр линии  $A-B$  с расходом 1 200 л/мин принят 12", а диаметры отходящих от нее линий  $B-C$  и  $B-E$  с расходами по 600 галл/мин приняты по 6", т. е. пропускная способность од-

ной 12"-ой трубы принята предположительно равной пропускной способности двух труб диаметром по 6", что, конечно, неправильно.

3. Сделанное допущение, что каждое кольцо имеет начальную точку в верхнем левом углу и конечную точку в нижнем правом углу, является только частным случаем. Поэтому такое допущение едва ли можно считать правильным в методическом отношении.

4. Перераспределение расходов можно произвести лишь после того, как определены потери напора и невязки в каждом кольце. Поэтому вначале нужно выполнять операцию 6, а затем уже операцию 5, а не наоборот, как указано авторами.

5. Имеется ряд неясностей в табл. 30. Авторы вполне правильно указывают, что потеря напора  $h_l$  (графа 5) должна быть либо со знаком +, либо со знаком —. В оригинале же только у первых двух значений (8,2 и 16,2) поставлены знаки +, а у остальных значений никаких знаков не поставлено.

В данном (частном) случае, во всех кольцах первые два значения должны быть со знаком +, а другие со знаком —.

Непонятны графы 6 и 7. Непонятно также, каким образом вычислено значение невязки  $\Delta Q$  (графа 10).

В графе 4 указаны принятые первоначально расчетные расходы, т. е. нанесенные на схеме рис. 84. Только в строках 7, 9, 13 и 15 почему-то записаны расходы уже с поправкой (которая не могла быть еще определена). При этом в строках 13 и 15 допущена ошибка, так как должно быть 531 и 469 или 534 и 466 (в оригинале 534 и 469).

В графе 11, в строке 15 допущена очевидная ошибка; вместо 1 031 нужно 1 013 ( $900+113=1\ 013$ ).

Неизвестно, каким образом получаются значения  $Q_3$  и  $Q_5$ .

Ряд ошибок можно установить при совместном рассмотрении табл. 30 и рис. 86. Так в 4-й строке, в последней графе вместо 428 нужно 429 (как на схеме и как в строке 9, относящейся к той же линии). В то же время цифра 428 получена как разность  $435-7$ , т. е. правильно. Следовательно, где-то здесь имеется ошибка. В таблице для линии 7 подсчитан расход 644, а на схеме для этой же линии ( $E-F$ ) написан расход 647; в таблице для линии 8 показан расход 359, а на схеме к этой же линии  $E-H$  относится расход 356.

6. Имеются ошибки и в табл. 31 при определении давлений в узлах. Значения потерь напора в каждой линии, хотя и на немного, но отличаются от вычисленных в табл. 30. В одном же случае, а именно для линии 7 ( $E-F$ ), отличие весьма значительное — 15,4 вместо 6,7, т. е. более, чем в 2 раза. С небольшими ошибками вычислены давления в узлах. Так, в узле С давление должно быть  $46,2-6,7=39,5$ , а не 39,7, как указано в таблице; в узле F должно быть 36,5 а не 36,6 и т. д.

38. Стр. 141. Обращает внимание некоторое противоречие, заключающееся в следующем. На стр. 135 указывалось, что для анализа водопроводной сети в США применяют почти исключительно электрические анализаторы и метод Харди Кросса. Здесь же говорится, что электрический анализатор в обычной практике широко не применяется вследствие его высокой стоимости.

39. Стр. 142. Это указание не совсем правильно. При тушении пожара обычно потери напора в сети получают значительно большими, чем при нормальной работе сети. В связи с этим и в данном случае может потребоваться установка на насосной станции специальных пожарных насосов (с повышенным давлением).

40. Стр. 145. Возникает сомнение — нет ли здесь ошибки, т. е. не должно ли быть наоборот: отношение общей производительности пожарных машин к требуемой производительности пожарных струй составляет  $\frac{3}{2}$ ; иначе говоря, производительность машин должна быть с 50%-ным запасом.



## Глава VIII

41. Стр. 153. В оригинале не указано название чего.
42. Стр. 153. В оригинале «Stop box».
43. Стр. 155. Так в оригинале; возможно, что под этим нужно понимать косою и прямой тройник.
44. Стр. 159. В оригинале «1 part in 10 billion», т. е. 0,0001 мг. Вероятно, здесь ошибка.
45. Стр. 162. Вся формула и подкоренное выражение — так в оригинале.

## Глава IX

46. Стр. 173. Так в оригинале.

## Глава X

47. Стр. 196. Этот параграф взят из другой главы книги «Живые организмы в воде», которая при переводе исключена ввиду особой специфичности вопроса. Приведенные здесь сведения представляют интерес, потому что указываются токсические дозы медного купороса и хлора для различных микроорганизмов.
48. Стр. 196. Для каких именно — в оригинале не указывается.

## Глава XI

49. Стр. 199. Под плотными потоками, видимо, нужно понимать наличие отдельных струй воды, не смешивающихся с общим потоком.
50. Стр. 201. Круглыми здесь, как это видно из последующего изложения, называются, применительно к нашей терминологии, как радиальные, так и вертикальные отстойники. Радиальные отстойники называются здесь круглыми отстойниками с горизонтальным движением воды, а вертикальные — круглыми отстойниками с вертикальным движением воды.
51. Стр. 202. Такие широкие пределы (от 300 до 4 000 галл.) указаны в оригинале. Видимо это ошибка, и нужно считать от 3 000 до 4 000 галл. (126—168 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> сутки).

## Глава XII

52. Стр. 208. Определение не совсем точно. Оседают на дно не коагулянт, а образовавшиеся в результате реакции с водой хлопья коагулянта вместе с захваченными ими в силу адсорбции взвешенными веществами.
53. Стр. 215. В оригинале, в графе 7 указывается, что приводится стоимость реагентов за 1 фунт в долларах. В тексте же в ссылке на эту таблицу в другом месте указывается, что стоимость дается за 100 фунтов. Очевидно, что правильным следует считать второе указание.
54. Стр. 220. Под вяжущим действием (astringent action) нужно, видимо, понимать то, что под действием хлорного железа происходит усадка древесины.
55. Стр. 225. Стратификация по высоте.

## Глава XIII

56. Стр. 237. Сетки с отверстиями, измеряемыми микронами.
57. Стр. 241. Как известно, и у нас медленное фильтрование на новых установках давно уже не применяется. В последнее время встал вопрос о целесообразности применения медленного фильтрования при очистке небольших количеств воды в условиях сельского хозяйства.

58. Стр. 272. Так в оригинале: 10—12 фунтов на 1 млн. галл. и 50 частей на 1 млн.

59. Стр. 274. Так в оригинале. Возможно что это обозначает «сплошной рост».

60. Стр. 278. Так в оригинале. Возможно здесь допущена ошибка.

61. Стр. 290. H — катионирование.

#### Глава XV

62. Стр. 321. К этому виду относятся рыбы: рыба-уточка (*Iepadogaster*), чукучан (*calostomidal*) минога (*petromyzon*).

63. Стр. 321. Иначе луна-рыба (*mola mola*).

#### Глава XVI

64. Стр. 326. Символы *SD*, *CF* не расшифрованы; возможно, что в таблице написано ошибочно *SD* вместо *Sd* (или в расшифровке *Sd* вместо *SD*). С другой стороны, в таблице нет символ, хотя в расшифровке он имеется.

65. Стр. 334. Активированный уголь может быть приготовлен не только из древесного, но и из каменного угля.

66. Стр. 341. Т. е. отрицательный логарифм общей щелочности воды.

---



## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие к русскому изданию . . . . .	5
Предисловие к английскому изданию . . . . .	10
Глава I. Водопотребление . . . . .	11
Глава II. Водоводы . . . . .	29
Глава III. Трубы из разных материалов . . . . .	41
Глава IV. Клапаны, задвижки, затворы, гидранты и водомеры . . . . .	70
Глава V. Коррозия металла . . . . .	90
А. Теория коррозии . . . . .	—
Б. Методы борьбы с коррозией . . . . .	96
Глава VI. Запасные и регулирующие резервуары . . . . .	103
А. Резервуары из каменной кладки . . . . .	108
Б. Водонапорные башни . . . . .	112
Глава VII. Расчет распределительных систем . . . . .	125
Глава VIII. Строительство и эксплуатация распределительных систем . . . . .	147
Глава IX. Влияние качества воды на здоровье людей и производственные процессы . . . . .	167
Глава X. Требования к качеству воды . . . . .	178
Глава XI. Простое отстаивание . . . . .	197
Глава XII. Отстаивание с коагулированием . . . . .	208
Глава XIII. Медленное и скорое фильтрование . . . . .	236
А. Медленное фильтрование . . . . .	—
Б. Скорое фильтрование . . . . .	239
Глава XIV. Умягчение воды . . . . .	279
Глава XV. Дезинфекция . . . . .	301
Глава XVI. Различные способы очистки воды . . . . .	325
Примечания к русскому переводу . . . . .	345