Н. Н. Абрамов

ВОДОСНАБЖЕНИЕ



Н. Н. АБРАМОВ

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Допущено
Министерством высшего и среднего специального образования СССР
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Водоснабжение и канализация»

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1974

УДК 628.1(075.8)

Рецензенты — д-р техн. наук *И. Э. Апельцин,* д-р техн. наук *Ф. М. Бочевер,* канд. техн. наук *П. В. Лобачев,* инж. *С. Л. Рубинштейн*

Абрамов Н. Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1974. 480 с.

В учебнике даны основные сведения о системах водоснабжения, приведены материалы для ознакомления с назначением, условиями работы, конструкциями, методами расчета и проектирования основных водопроводных сооружений. Рассмотрены задачи и характерные особенности систем производственного и сельскохозяйственного водоснабжения. Изд. 1-е вышло в 1967 г.

Учебник предназначен для студентов вузов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и канализация».

Табл. 50, ил. 316, список лит.: 22 назв.

© Стройиздат, 1974

А $\frac{30210-507}{047(01)-74}$ 186—74

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящая книга предназначается служить учебником по курсу «Водоснабжение» — одной из профилирующих дисциплин специальности «Водоснабжение и канализация» строительных вузов и факультетов.

Комплексный характер этой дисциплины, базирующейся на различных отраслях технических наук, обусловливается потребностями самой жизни, необходимостью решения комплекса сложных инженерных задач, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией систем водоснабжения. Эти системы включают разнообразные сооружения, обеспечивающие добывание, очистку и подачу потребителям требуемых количеств воды надлежащего качества.

Изучение курса водоснабжения основывается на знаниях, полученных студентами при прохождении ряда общетехнических и специальных дисциплин учебного плана.

Так, для решения вопросов добывания воды из природных источников необходимо знакомство с гидрологией, гидрогеологией, гидротехникой и буровой техникой.

Решение вопросов технологии очистки воды возможно лишь при наличии достаточных знаний в области химии воды и гидробиологии.

Проектирование и расчет водопроводных сетей и сооружений, базирующиеся на законах гидравлики, требуют глубокого знания этой дисциплины.

Проектирование, строительство и эксплуатация сооружений для подачи воды требуют знания специального технического оборудования: насосов, двигателей, электроаппаратуры, регулирующих и измерительных приборов.

Наконец, для работы по проектированию и возведению водопроводных сооружений инженер должен иметь хорошую подготовку в области строительных дисциплин.

Для формирования инженера такого широкого профиля в учебный план специальности «Водоснабжение и канализация» входят дисциплины: гидравлика, электротехника, теплотехника, детали машин, насосы и насосные станции, гидрология, гидрогеология, гидротехнические сооружения, специальный курс химии и ряд строительных дисциплин.

Изучение перечисленных дисциплин должно предшествовать прохождению соответствующих разделов курса водоснабжения.

Огромное многообразие вопросов, охватываемых курсом, при высоком уровне развития современной техники водоснабжения не позволяет осветить их в учебнике с желаемой степенью детализации. Поэтому учебник охватывает с должной полнотой только основные принципиальные вопросы водоснабжения и дает сведения, отвечающие по содержанию и объему утвержденной программе курса. Более подробные сведения по отдельным вопросам водоснабжения учащиеся могут получить из учебных пособий, а также из технической и справочной литературы (см. перечень рекомендуемой литературы).

В книге использованы по возможности новые разработки наших крупнейших проектных организаций — Союзводоканалпроекта, Гипрокоммунводоканалпроекта, Теплоэлектропроекта и др., а также научно-исследовательских институтов — ВОДГЕО, Академии коммунального хозяйства и др.

Главы 30 и 31 написаны инженерами Г. С. Агеевым и П. А. Денисовым, глава 33 написана инж. Н. П. Фрогом, глава 24 — д-ром техн. наук проф А. А. Кастальским, глава 32 — канд. техн. наук А. Ф. Шабалиным.

Автор выражает глубокую признательность за предоставление новых материалов, просмотр отдельных разделов рукописи и ценные замечания Л. Ф. Мошнину, Д. М. Минцу, М. М. Андрияшеву, А. В. Перфильеву, В. А. Клячко, Е. Ф. Кургаеву, С. К. Абрамову, Ф. И. Бондарю, Ф. М. Бочеверу, В. И. Филиппову, М. М. Поспеловой, А. С. Москвитину, П. В. Лобачеву, а также коллективу кафедры водоснабжения Горьковского инженерно-строительного института во главе с проф. П. И. Пискуновым за полезные замечания при рецензировании рукописи.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

В настоящем издании учтены указания новых нормативных документов по водоснабжению и, в частности, проект последней редакции главы II-Г.3 Строительных норм и правил; учтены новые стандарты.

В книге отражены по возможности все новые и прогрессивные методы добывания, обработки и транспортирования воды, предназначенной для целей водоснабжения.

Существенно переработаны разделы книги, посвященные вопросам расчета и проектирования водопроводных сетей при их совместной работе с водопитателями и емкостями. Углублены теоретические основы гидравлических и технико-экономических расчетов систем подачи и распределения воды. Расширены сведения об использовании вычислительных машин для расчетов водопроводных систем.

Более полно изложены такие важные современные вопросы, как опреснение соленых вод.

Обновлены сведения по производственному и сельскохозяйственному водоснабжению с учетом последних достижений в этих областях.

В значительной степени обновлен иллюстративный материал — использованы новые типы и конструкции водопроводных сооружений.

Отдельные главы учебника написаны: доц., канд. техн. наук В. Н. Смагиным (глава 23), инж. Г. С. Агеевым (главы 30 и 31), канд. техн. наук А. Ф. Шабалиным (глава 32), инж. Н. П. Фрогом (главы 33 и 34).

Автор выражает глубокую признательность за предоставление новых материалов по отдельным разделам рукописи, а также за ценные замечания при ее рецензировании И. Э. Апельцину, Ф. М. Бочеверу, И. И. Ларину, С. Л. Рубинштейну, М. М. Поспеловой, А. С. Москвитину, Ю. В. Александровскому, П. В. Лобачеву, Н. В. Ереснову.

ВВЕДЕНИЕ

I

Среди многих отраслей современной техники, направленных на повышение уровня жизни людей, благоустройства населенных мест и развития промышленности, водоснабжение занимает большое и почетное место.

Водоснабжение представляет собой комплекс мероприятий по обеспечению водой различных ее потребителей.

Обеспечение населения чистой, доброкачественной водой имеет большое гигиеническое значение, так как предохраняет людей от различных эпидемических заболеваний (передаваемых через воду). Подача достаточного количества воды в населенное место позволяет поднять общий уровень его благоустройства. Для удовлетворения потребностей современных крупных городов в воде требуются громадные ее количества, измеряемые в миллионах кубических метров в сутки. Выполнение этой задачи, а также обеспечение высоких санитарных качеств питьевой воды требуют тщательного выбора природных источников, их защиты от загрязнения и надлежащей очистки воды на водопроводных сооружениях.

Производственные процессы на предприятиях большинства отраслей промышленности также сопровождаются расходованием воды. При этом предприятия некоторых отраслей промышленности и энергохозяйства потребляют количество воды, нередко значительно превосходящее коммунальное водопотребление крупных городов. Некоторые промышленные предприятия предъявляют к качеству потребляемой воды специфические требования, иногда весьма высокие. От количества и качества используемой воды и организации водоснабжения промышленного предприятия в значительной мере зависят качество и себестоимость выпускаемой продукции. Таким образом, правильная организация водоснабжения промышленных предприятий имеет большое экономическое значение.

Комплекс сооружений, осуществляющих задачи водоснабжения, т. е. получение воды из природных источников, ее очистку, транспортирование и подачу потребителям, называется системой водоснабжения, или водопроводом.

Следует отметить, что кроме обеспечения водой населения и промышленности, осуществляемого системами водоснабжения, огромное народнохозяйственное значение имеет обеспечение водой сельского хозяйства для искусственного орошения земель в целях успешного выращивания сельскохозяйственных культур и получения высоких урожаев. В ряде районов такое искусственное орошение (ирригация) крайне необходимо и широко используется. Ирригация вследствие огромных объемов потребляемой воды и специфических методов ее использования представляет собой самостоятельную область водного хозяйства.

Однако в настоящее время в связи с общим ростом объемов потребляемой воды и недостаточностью в ряде районов местных природных источников воды все чаще возникает необходимость комплексного решения водохозяйственных проблем для наиболее рационального и экономичного обеспечения водой всех водопользователей и водопотребителей данного района. В нашей стране комплексное решение про-

блем водного хозяйства широко используется при планировании развития народного хозяйства. Кроме вопросов водоснабжения и орошения, комплексные водохозяйственные проблемы довольно часто охватывают вопросы гидроэнергетики и водного транспорта, так как без этого не могут быть разумно использованы крупные природные источники воды.

II

Первые сведения, которые мы имеем об искусственных сооружениях для добывания воды (колодцах), относятся к третьему тысячелетию до н. э. В Древнем Египте уже имелись простейшие механизмы для подъема воды из колодцев — наподобие наших «журавлей». Вавилоняне владели способом подъема воды на довольно значительную высоту при помощи различных приспособлений с использованием блоков и норий. В водопроводах Египта и Вавилона для распределения воды из резервуаров применялись трубы гончарные, деревянные, а также металлические (свинцовые и медные). В Древнем Китае для водоснабжения использовались весьма глубокие колодцы, из которых воду доставали ведрами при помощи воротов или блоков.

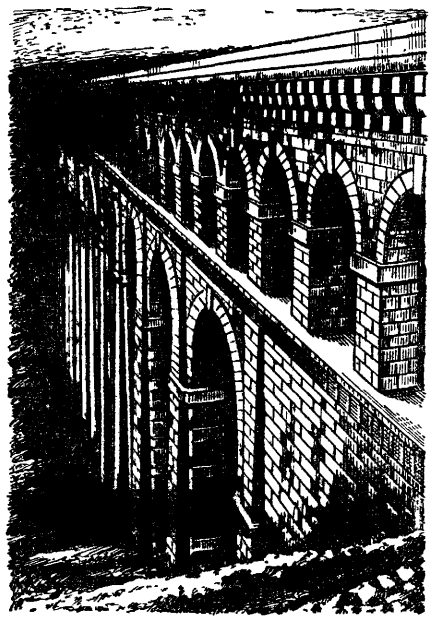


Рис. В.1

В период расцвета Древней Греции и Рима существовали уже большие централизованные системы водоснабжения. Рим императорской эпохи имел несколько водопроводов. Вода подавалась к городу самотеком по каналам. При пересечении долин или оврагов каналы прокладывались по специальным мостам — акведукам. Акведуки, сохранившиеся частично до наших дней, представляют собой интереснейшие образцы древнего инженерного искусства (рис. В.1). В городе вода подводилась к центральным резервуарам, откуда подавалась по трубам к общественным баням и купальням, к дворцам и домам богатых граждан, а также к общественным фонтанам и бассейнам, которыми пользовалось население. Следует, однако, отметить, что население получало через общественные фонтаны лишь небольшую часть общего количества воды, подававшейся в город; большая часть ее шла для императорского дворца и домов патрициев и около 25% шло в общественные бани и купальни.

После падения рабовладельческой Римской империи в эпоху Средневековья вопросам санитарной техники уделялось весьма мало внимания.

Начальные сведения об устройстве централизованных городских водопроводов в Европе относятся к XII в. В конце XII в. построен первый самотечный водопровод в Париже. В XIII в. начинается централизованное водоснабжение Лондона. К началу XV в. относятся сведения об устройстве водопроводов в немецких городах.

Зарождение и развитие капиталистической мануфактуры вызвало некоторое развитие и водопроводной техники Промышленная революция XVIII в обусловила строительство фабрично-заводских водопроводов В то же время сброс промышленных сточных вод в открытые водоемы привел к их сильному загрязнению и поставил вопрос об изыскании источников чистой воды

Применение паровых насосов позволило значительно увеличить дальность транспортирования воды

Так постепенно создавались централизованные системы водоснабжения городов и промышленных предприятий.

III

Из древних водопроводных устройств, которые применяли народы населявшие современную территорию СССР, в маловодных районах Средней Азии частично сохранились до нашего времени своеобразные сооружения для сбора грунтовых вод — кяризы (подземные галереи), в Крыму найдены вырубленные в скалах многочисленные цистерны для

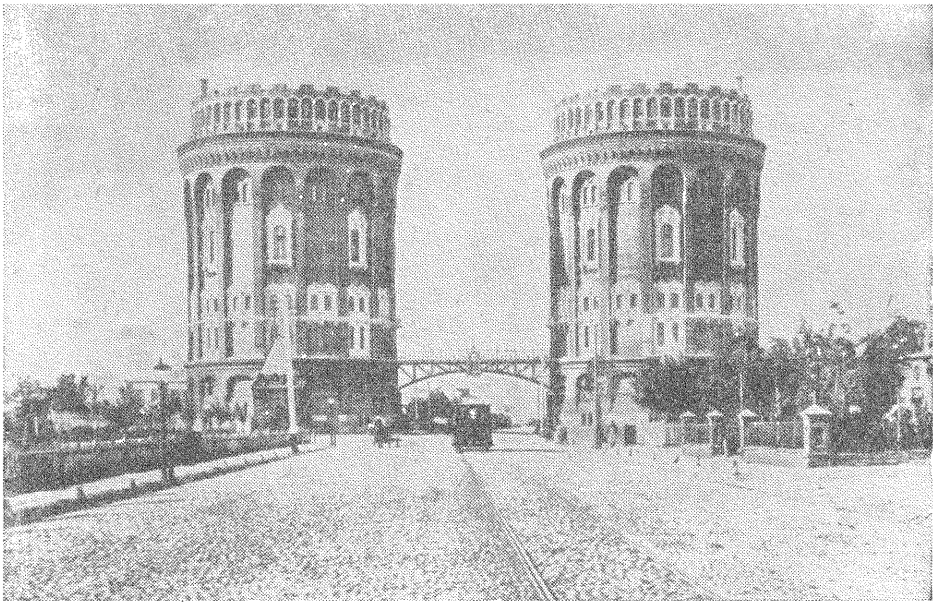


Рис В 2

сбора атмосферных вод, в Новгороде на территории княжеской резиденции (Ярославова дворища) при раскопках обнаружен самотечный водопровод из деревянных труб, время постройки которого отнесено к концу XI — началу XII в [1]

Имеются сведения о самотечном водопроводе из гончарных труб, построенном в Грузии в начале XIII в

В XII—XIV вв в ряде русских городов были построены водопроводы для крепостей В XV в был сооружен самотечный родниковый во-

[1] Сведения по истории русского водоснабжения приведены в книге Н И Фальковского «История водоснабжения в России» Изд во МКХ РСФСР, 1947.

допровод для Московского Кремля. В 1631 г. в Кремле был построен водопровод, который подавал воду при помощи «водовзводной машины» в водонапорную башню. Для транспортирования воды от водонапорной башни к местам потребления использовались свинцовые трубы.

В 1718 г. по приказу Петра I был сооружен водопроводный канал для Летнего сада в Петербурге. В 1721 г. сооружаются знаменитые Петергофские фонтаны, которые по своим масштабам и совершенству водопроводной техники превосходят даже столь прославленные Версальские фонтаны.

При Петре I начато также сооружение родникового водопровода в Царском Селе (ныне г. Пушкин), законченного в 1749 г. Для того же Царского Села был построен крупный для того времени (длиной более 15 км) речной водопровод из р. Таицы.

В 1804 г. заканчивается сооружение первого московского городского водопровода, который подавал в город самотеком грунтовую воду из села Б. Мытищи на расстояние около 16 км. До наших дней сохранился акведук мытищинского самотечного водопровода, построенный у села Ростокино для перехода долины р. Яузы.

Мытищинский водопровод в дальнейшем перестраивался и модернизировался; были построены насосные станции, самотечные водоводы заменены напорными. В 1898 г. были построены (около существующего ныне Рижского вокзала) Крестовские водонапорные башни (рис. В.2); они имели стальные баки емкостью по 1875 м^3 каждый, расположенные на высоте 30 м над поверхностью земли.

Сооружались водопроводы и в других русских городах. В течение XIX в. в России были построены еще 64 городских водопровода. В 1900 г начал строиться и с 1902 г. вступил в действие первый москворецкий водопровод с приемом воды у дер. Рублево. Однако вплоть до Великой Октябрьской социалистической революции строительство водопроводов в России развивалось медленно. До 1914 г. были построены водопроводы всего в 215 городах. При этом большая часть этих водопроводов находилась в неудовлетворительном состоянии; норма расхода воды на одного жителя была ничтожной; надлежащей очистки воды не производилось; число домовых вводов было незначительно, и большая часть воды отпускалась населению через уличные водоразборы.

Значительное число городских водопроводов принадлежало частным лицам или компаниям, которые использовали водопроводы как средство наживы, мало заботясь об удобствах и здоровье населения. Такую же эксплуататорскую политику в городском хозяйстве проводили в царской России и органы городского управления.

Городское хозяйство, не поддерживаемое и не ремонтируемое в течение первой мировой войны, пришло за это время в еще большее запустение.

Великая Октябрьская социалистическая революция коренным образом изменила это нетерпимое положение.

IV

С первых же лет Советской власти партия большевиков и Советское правительство проявили исключительную заботу об улучшении санитарного состояния населенных мест и охране здоровья трудящихся. Принятая на VIII съезде ВКП(б) в марте 1919 г. программа партии ставила одной из ближайших задач создание санитарного законодательства и проведение мероприятий по оздоровлению населенных мест и охране водоемов.

В годы борьбы молодого Советского государства с иностранными интервентами многие города и их коммунальное хозяйство подверглись значительным разрушениям. После окончания гражданской войны и разгрома интервентов Советская власть приступила к восстановлению хозяйства страны и в первую очередь промышленности и сельского хозяйства.

За первые десять лет Советской власти в основном было закончено восстановление городского хозяйства, включая водопроводное, проведено установление охранных зон источников водоснабжения, построены новые водопроводы в 74 городах.

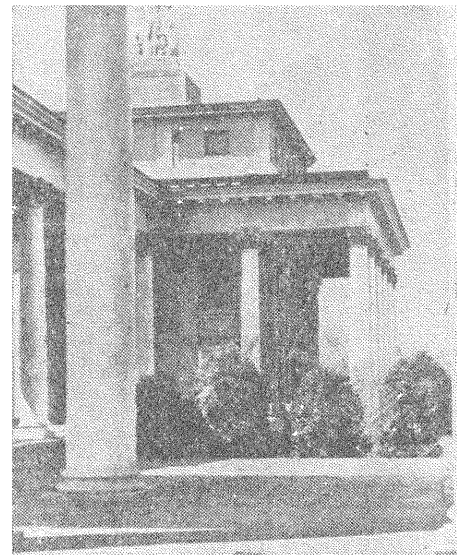


Рис. В.3

За годы первой и второй пятилеток была проведена коренная реконструкция ряда существующих водопроводов и построено более 100 новых городских водопроводов.

Удельное водопотребление, т. е. количество воды, расходуемой на одного жителя, возросло в среднем более чем в 4 раза, несмотря на огромный рост численности городского населения.

Важное значение для развития водопроводного и канализационного городского хозяйства имели решения июньского Пленума ЦК ВКП(б) 1931 г. Пленум дал руководящие установки по дальнейшему развитию и реконструкции городского хозяйства СССР, производству коммунального оборудования и особое внимание уделил развитию водоснабжения нашей столицы — Москвы. Пленум принял решение о строительстве канала Волга — Москва для кардинального решения проблемы обеспечения Москвы водой.

Новый этап в развитии водопровода Москвы начался с постановления СНК СССР и ЦК ВКП(б) от 10 августа 1935 г. «О генеральном плане реконструкции г. Москвы». План реконструкции нашей столицы установил пути и масштабы развития московского водопровода для приема волжской воды.

После постройки канала имени Москвы, пуска Восточной (рис. В.3) и Северной (рис. В.4 и В.5) водопроводных станций, а также реконструкции москворецкого водопровода Москва стала обладательницей одного из самых крупных и технически совершенных городских водопроводов суточной производительностью около 4 млн. м³.

В настоящее время осуществлено расширение московского водопровода путем строительства Западной водопроводной станции и дальнейшего регулирования стока р. Москвы. Рассматривается также вопрос об использовании новых удаленных источников для водоснабжения столицы — регулирование стока и передача в город воды из р. Вазузы и других, а также строительство водопроводного канала Ока — Москва.

В годы Великой Отечественной войны все народное хозяйство страны было подчинено нуждам фронта. Водопроводное хозяйство многих

промышленных предприятий и населенных мест должно было обеспечивать бесперебойную подачу воды на нужды заводов оборонного значения и на борьбу с пожарами в условиях налетов вражеской авиации, бомбардировок и обстрелов. Советское водопроводное хозяйство успешно справилось с возложенной на него задачей.

После разгрома гитлеровской Германии перед страной встала задача быстрейшего восстановления народного хозяйства.

Восстановление и развитие промышленности требовали соответст-



Рис. В.4

вующих масштабов водопроводного и канализационного строительства. В области коммунального водоснабжения послевоенный пятилетний план поставил задачу восстановления водопроводов во всех городах, подвергшихся немецкой оккупации, а также дальнейшего расширения существующих и строительства ряда новых городских водопроводов.

Выполнение грандиозной задачи индустриализации нашей страны потребовало строительства крупнейших и весьма сложных водопроводных систем для новых промышленных предприятий и целых промышленных районов.

Было осуществлено строительство громадных районных систем водоснабжения Донбасса, Криворожья, ряда промышленных районов Сибири и Урала.

В настоящее время в Целинном крае уже построено и строится несколько районных систем водоснабжения; каждая из них охватывает площадь в несколько миллионов гектаров, имеет протяженность водоводов и сетей по нескольку тысяч километров и снабжает водой десятки населенных мест и колхозов. В ближайшие годы предстоит строительство еще ряда подобных систем.

Особенно быстрое развитие районные системы водоснабжения получат в условиях современного этапа экономического развития СССР.

В Отчетном докладе ЦК КПСС XXIV съезду КПСС Л. И. Брежнев отметил: «Самоотверженным трудом советских людей построено развитое социалистическое общество» [1]. Построение развитого социалистического общества позволило нашей стране приступить к практическому решению великой задачи, поставленной программой КПСС, ее последними съездами — к созданию материально-технической базы коммунизма. Создание материально-технической базы коммунизма является сложной задачей, требующей высоких темпов развития всех отраслей народного хозяйства и в том числе водоснабжения.

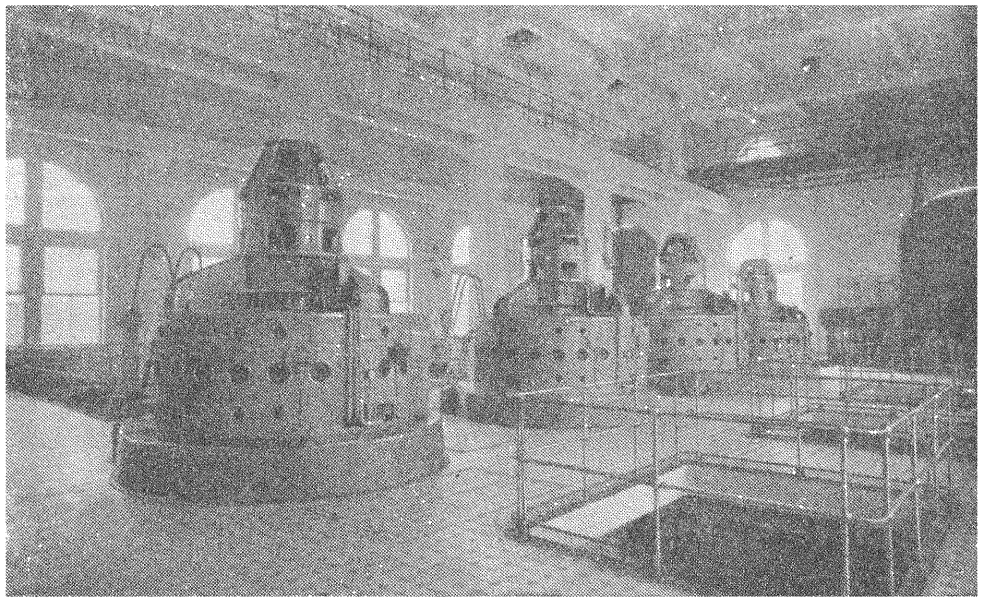


Рис В.5

Проблема развития водоснабжения тесно связана с решением главной задачи девятого пятилетнего плана — улучшения жилищных условий советского народа, создания здоровых условий труда и отдыха. На решение этой главной задачи направлены постановления партии и правительства о мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов.

Бурный рост городского и промышленного строительства за последние годы, увеличение объемов используемой воды, а также объемов сбрасываемых сточных вод привели к необходимости пересмотра и совершенствования порядка использования природных водоемов для нужд народного хозяйства и охраны их от загрязнения.

В декабре 1970 г. Верховный Совет СССР принял закон об утверждении «Основ водного законодательства Союза ССР и союзных республик» и введении их в действие с 1 сентября 1971 г. Этот исторический документ подтверждает государственную собственность на воду и устанавливает порядок предоставления права использования природных водоемов, права́ и обязанности водопользователей, порядок и условия сброса в природные водоемы сточных вод, меры по охране водоемов от загрязнения и систему контроля за эксплуатацией природных водоемов.

[1] Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971.

В законе предусмотрен своевременный и полный учет вопросов охраны водных ресурсов от загрязнения и истощения при размещении, проектировании, строительстве и эксплуатации всех предприятий и сооружений.

Закон подчеркивает необходимость первоочередного удовлетворения питьевых и бытовых нужд населения.

В законе даны все основные положения и указания, обеспечивающие рациональное и экономное использование природных источников воды, меры по их защите, а также предусмотрена ответственность за нарушение водного законодательства.

Строгое соблюдение этого закона позволит успешно решить в нашей стране одну из важнейших задач современности — обеспечить человечество на далекую перспективу доброкачественной водой.

В своей речи на XXIV съезде КПСС Л. И. Брежнев сказал: «Советский народ, достойно завершив восьмую пятилетку, сделал новый крупный шаг вперед в создании материально-технической базы коммунизма, в укреплении могущества страны и повышении благосостояния народа»[1].

В принятых XXIV съездом Директивах по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. намечено дальнейшее развитие жилищно-коммунального строительства и, в частности, водоснабжения населенных мест.

За пятилетку должны быть построены 700 водопроводов в городах и рабочих поселках.

Намеченные Директивами масштабы развития таких отраслей промышленности, как нефтеперерабатывающая, угольная, металлургическая, целлюлозно-бумажная, а также теплоэнергетики повлекут необходимость проектирования и строительства крупных систем промышленного водоснабжения. При этом в целях рационального использования природных источников воды и защиты их от загрязнения производственными сточными водами должны получить широкое развитие системы оборотного водоснабжения и повторного использования воды.

Таким образом, жизнь ставит перед специалистами в области водоснабжения новые большие и важные задачи.

За годы Советской власти водоснабжение превратилось в важную отрасль народного хозяйства. Советская водопроводная техника сделала большие успехи: наши ученые, инженеры, конструкторы и изобретатели создали советские системы, конструкции, оборудование, приборы, методы расчета водопроводных сооружений и имеют приоритет в установлении многих современных методов проектирования и расчета водопроводных сооружений, а также в создании новых конструкций сооружений.

Много труда на разработку научных основ и инженерных вопросов водопроводной техники в свое время положили известные русские ученые и инженеры: Н. Е. Жуковский, В. Е. Тимонов, К. М. Игнатов, Н. К. Чижов, И. И. Черепашинский, Н. П. Зимин.

Советские ученые создали единую комплексную дисциплину «Водоснабжение», включающую все многообразные отрасли современной технической науки о добывании, очистке, транспортировании и распределении воды. Над созданием этой дисциплины и над решением основных вопросов водопроводного дела много работали А. А. Сурин, Н. Н. Гениев, Н. А. Кашкаров, М. Г. Мельников, Н. Г. Малишевский, В. Г. Лобачев, С. Х. Азерьер, М. Т. Турчинович и др.

---

[1] Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971.

В высших учебных заведениях дореволюционной России инженеров по водоснабжению специально не готовили. Вопросами водоснабжения занимались инженеры путей сообщения, гражданские инженеры и частично инженеры-механики и технологи. В настоящее время в наших советских вузах существуют отдельные факультеты и специальности, готовящие инженеров по водоснабжению и канализации. Они получают всестороннее образование по вопросам проектирования, строительства и эксплуатации различных водопроводных сооружений. Это позволяет им не только успешно справляться с теми сложными и большими задачами, которые выдвигают рост и развитие нашего народного хозяйства, но и работать над дальнейшим углублением и развитием советской технической науки в своей области.

Новые задачи, которые ставятся перед специалистами по водоснабжению, должны быть решены с использованием всех достижений научно-технического прогресса наиболее рационально и наиболее экономично.

Раздел I

ПОТРЕБНОСТИ В ВОДЕ И ИСТОЧНИКИ ИХ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ

Глава 1

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ

§ 1. ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

При проектировании системы водоснабжения любого объекта прежде всего должно быть определено, сколько воды и какого качества требуется подавать данному объекту. Для решения этой задачи необходимо с возможной полнотой учесть всех возможных потребителей воды и установить их требования к количеству и качеству подаваемой воды.

Вода расходуется различными потребителями на самые разнообразные нужды. Однако подавляющее большинство этих расходов может быть сведено к трем основным категориям.

1. Расход воды на хозяйственно-питьевые (бытовые) нужды населения. Сюда входят все расходы воды, связанные с бытом людей: питье, приготовление пищи, умывание, стирка, поддержание чистоты жилищ и т. п. К этой же категории могут быть отнесены все расходы воды, необходимые для обеспечения благоустройства города или поселка: поливка улиц, зеленых насаждений и т. п.

2. Расход воды для производственных (технических) целей на предприятиях промышленности, транспорта, энергетики, сельского хозяйства и т. п. (парообразование, охлаждение, конденсация пара, изготовление различных фабрикатов, промывка продукции и пр.).

3. Расход воды для пожаротушения.

Кроме того, вода расходуется на собственные нужды водопровода (промывка фильтров, водоприемных устройств, сети и др.).

Требования, предъявляемые к качеству воды, различны в зависимости от характера ее использования. Так, к воде, идущей на удовлетворение питьевых нужд населения, в первую очередь предъявляют требования санитарно-гигиенического порядка. Вода должна быть безвредной для здоровья, не содержать болезнетворных бактерий, быть прозрачной, не иметь запаха и дурных привкусов.

Разные производственные потребители предъявляют к качеству используемой воды весьма различные требования. Например, предприятия пищевой промышленности требуют воду питьевого качества; вода, идущая для питания паровых котлов, должна иметь минимальное солесодержание; вода, употребляемая в текстильной промышленности, не должна содержать железа и т. п. Можно назвать ряд промышленных потребителей, предъявляющих такие требования к качеству воды, которым не удовлетворяет ни один природный источник.

Наиболее крупными производственными потребителями воды являются теплосиловые станции, металлургические, нефтеперерабатывающие заводы, использующие воду для охлаждения (конденсация пара, охлаждение производственных агрегатов). Эти потребители обычно не предъявляют к качеству воды высоких требований.

Для третьей категории водопотребления — борьбы с пожарами — может быть использована практически вода любого качества.

§ 2. УДЕЛЬНЫЕ РАСХОДЫ И НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Определение количеств требуемой потребителю воды является весьма ответственной задачей при проектировании систем водоснабжения.

Рассмотрим сначала методы определения количеств воды, требуемой для хозяйственно-питьевых нужд населения.

Очевидно, общий расход на нужды населения в каком-либо населенном месте будет пропорционален числу жителей в нем. Для определения общего расхода необходимо прежде всего знать расход воды на хозяйственно-питьевые нужды, приходящийся на одного жителя, т. е. удельный расход. Он слагается из расходов на самые различные нужды и зависит от характера санитарно-технического оборудования зданий, благоустройства города, климатических условий и т. п. Чем выше степень благоустройства жилых районов, тем больше будет потребление воды; в жарком климате водопотребление будет больше, чем в умеренном или холодном, и т. п.

Опыт эксплуатации водопроводов населенных мест дает возможность определить фактический расход воды одним жителем при разной степени благоустройства жилых районов и в разных климатических поясах. Анализ и обработка этих фактических материалов позволяют выработать нормы водопотребления, т. е. расход воды на одного жителя, который следует принимать в основу определения требуемых расчетных количеств воды при проектировании новых водопроводов (или реконструкции существующих).

Ввиду того что рост благосостояния населения СССР и усовершенствование санитарно-технического оборудования зданий влекут за собой изменение количества расходуемой воды, нормы водопотребления периодически пересматриваются.

С 1963 г. действуют нормы хозяйственно-питьевого водопотребления, указанные в табл. I.1[1]. В приведенные в таблице значения включены расходы воды на все хозяйственно-питьевые нужды людей как в жилых домах, так и в общественных зданиях (столовых, прачечных, банях, клубах и т. п.).

В проекте новых Строительных норм и правил рекомендуются нормы хозяйственно-питьевого водопотребления, приведенные в табл. I 2. Здесь несколько упрощена классификация категорий санитарно-технического оборудования зданий и дается только среднесуточное (за год) количество воды, расходуемой на одного жителя.

Бóльшие значения указанных расходов (в пределах каждой категории) принимаются для южных районов СССР, а меньшие — для северных.

Для определения общего расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды необходимо дополнительно учитывать расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих во время пребывания их на производстве, а также расход воды на поливку зеленых насаждений, мойку и поливку улиц и площадей.

Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих для цехов со значительным тепловыделением принимается равным 45 л, а в остальных цехах — 25 л на каждого работающего в смену. Сверх этого на производствах, связанных с загрязнением тела или требующих особого санитарного режима, должен быть учтен расход воды в душевых из расчета 500 л/ч на одну душевую сетку.

Нормы расхода воды на мойку и поливку улиц и площадей, а также на поливку зеленых насаждений приведены в табл. I.3.

---

[1] Строительные нормы и правила, часть II, раздел Г, глава 3 «Водоснабжение. Нормы проектирования». (СНиП II-Г 3-62). М., Госстройиздат, 1963.

Таблица I.1

Характер санитарно-технического оборудования зданий	Норма водопотребления в л/сутки		Коэффициент часовой неравномерности a*
	среднесуточная (за год) $q_{ср}$	в сутки наибольшего водопотребления $q_{макс}$	
Внутренний водопровод и канализация (без ванн)	125—150	140—170	1,5—1,4
То же, с газоснабжением	130—160	150—180	1,4—1,35
Внутренний водопровод, канализация и ванны с водонагревателями, работающими на твердом топливе	150—180	170—200	1,3—1,25
То же, с газовыми водонагревателями . .	180—230	200—250	1,3—1,25
Внутренний водопровод, канализация и система централизованного горячего водоснабжения	275—400	300—420	1,25—1,2
Водопользование из водоразборных колонок при отсутствии внутреннего водопровода и канализации	30—50	40—60	2—1,8

* О коэффициенте часовой неравномерности см. далее в главе 4.

Таблица I.2

Характер санитарно-технического оборудования зданий	Средняя норма водопотребления в л/сутки
Внутренний водопровод и канализация (без ванн) . . .	125—160
Внутренний водопровод, канализация и ванны с местными водонагревателями .	160—230
Внутренний водопровод, канализация и система централизованного горячего водоснабжения . . .	250—350

Таблица I.3

Виды расходования воды	Нормы расхода воды на одну поливку или мойку в л/м²
Механизированная мойка усовершенствованных покрытий улиц и площадей . .	1,2—1,5
Механизированная поливка усовершенствованных покрытий проездов и площадей	0,3—0,4
Поливка вручную (из шлангов) усовершенствованных покрытий тротуаров и проездов	0,4—0,5
Поливка городских зеленых насаждений	3—4
Поливка газонов и цветников	4—6

Число поливок в сутки должно приниматься в зависимости от местных климатических условий.

При отсутствии данных о подлежащих поливке площадях СНиП допускают принимать для предварительных расчетов суммарный расход воды на поливку исходя из нормы от 30 до 90 л/сутки на одного жителя (в зависимости от климатических условий).

Расход воды на производственные нужды промышленных предпри-

ятий принимают на основании технологических расчетов. Расход воды на единицу продукции сильно колеблется и часто бывает различным даже на аналогичных предприятиях, поскольку он зависит от типа применяемого оборудования и аппаратуры, схемы технологического процесса и местных условий.

При составлении проекта водоснабжения расчетные расходы воды для нужд производства принимают по указанию технологов данной отрасли. Для предварительных ориентировочных расчетов потребления воды на производственные нужды можно использовать укрупненные удельные нормы расхода воды на единицу продукции в различных промышленных предприятиях, полученные из опыта эксплуатации[1]. При этом различают полные расходы воды, необходимой для нужд производства, и расходы «свежей» воды, забираемой из источника для восполнения потерь в оборотных циклах.

Таблица I.4

Число жителей в населенном месте или в районе города в тыс., до	Расчетное число одновременных пожаров	Нормы расхода воды в л/с (на один пожар независимо от огнестойкости зданий) при высоте застройки	
		до двух этажей включительно	три этажа и более
5	1	10	10
10	1	10	15
25	2	10	15
50	2	20	25
100	2	25	35
200	3	—	40
300	3	—	55
400	3	—	70
500	3	—	80

СНиП допускают учитывать расходы воды на нужды местной промышленности (забирающей воду из городского водопровода) и на неучтенные нужды в размере 5—10% суммарного расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды населения (определяемого по нормам табл. I.1).

Принцип нормирования расхода воды для пожаротушения существенно отличается от принципа нормирования рассмотренных выше расходов воды. При современных средствах пожаротушения предусматривается подача воды в виде струй, получаемых для наружного пожаротушения через пожарные краны (гидранты), установленные на наружной водопроводной сети, а для внутреннего пожаротушения через пожарные краны, установленные на сети внутренних водопроводов. Для некоторых видов зданий применяют особые противопожарные устройства в виде спринклерных и дренчерных систем, водяных завес, лафетных стволов и т. п.

В зависимости от размеров населенных мест, расчетного числа жителей, огнестойкости построек, плотности и характера застройки устанавливают расчетную интенсивность подачи воды для тушения одного пожара, а также расчетное число возможных пожаров на территории города или промышленного предприятия.

Нормы расхода воды для тушения пожаров в городах и поселках (согласно указаниям СНиП II-Г.3-62) приведены в табл. I.4*.

[1] СЭВ, ВНИИ ВОДГЕО. Укрупненные нормы расхода воды и количества сточных вод на единицу продукции для различных отраслей промышленности. М, Стройиздат, 1973.

* В проекте новых норм добавлены расходы на тушение пожара для городов с населением 600, 700, 800 тыс. и 1 млн жителей (соответственно три одновременных пожара с расходом на один пожар 85, 90, 95 и 100 л/с), а также для городов с населением 2 млн. жителей (четыре одновременных пожара с расходом на один пожар 100 л/с).

Расход воды для пожаротушения на промышленных предприятиях определяется в зависимости от характера производства и степени огнестойкости производственных зданий. При ширине производственных зданий до 60 м с фонарями следует пользоваться данными табл. I.5.

Таблица I.5

Степень огнестойкости зданий	Категория производства по пожарной опасности	Расход воды в л/с на один пожар при объеме здания в тыс. м³						
		до 3	3—5	5—20	20—50	50—200	200—400	более 400
I и II	Г, Д	10	10	10	10	15	20	25
	А, Б, В	10	10	15	20	30	35	40
III	Г, Д	10	10	15	25	—	—	—
	В	10	15	20	30	—	—	—
IV и V	Г, Д	10	15	20	30	—	—	—
	В	15	20	25	—	—	—	—

Таблица I.6

Степень огнестойкости зданий	Категория производства по пожарной опасности	Расход воды в л/с на один пожар при объеме здания в тыс. м³										
		до 5	>5 до 20	>20 до 50	>50 до 100	>100 до 200	>200 до 300	>300 до 400	>400 до 500	>500 до 600	>600 до 700	>700 до 800
I и II	А, Б, В	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Г, Д	10	10	10	15	20	25	30	35	40	45	50

В проекте новых норм дополнительно даются расходы на тушение пожара для производственных зданий шириной до 60 м без фонарей (табл. I.6).

Указания по определению расчетного числа одновременных пожаров для объединенных водопроводов промышленных предприятий и населенных мест изложены в проекте новых норм.

При определении запаса воды, необходимого для тушения пожара как в населенных местах, так и на промышленных предприятиях, расчетную продолжительность тушения пожара принимают равной 3 ч.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СУТОЧНЫХ ОБЪЕМОВ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Нормы водопотребления позволяют определить общую расчетную потребность в воде объекта, для которого проектируется водопровод. Эта потребность определяется отдельно для каждой категории водопотребителей.

В качестве основного измерителя количества воды, требуемой для водоснабжения данного объекта, обычно принимается суточный расход. Так, средний суточный расход воды S на хозяйственно-питьевые нужды населенного места будет:

$$S = q_{ср}N,$$

где $q_{ср}$ — средняя норма расхода воды на одного жителя в сутки (по табл. I.1);

N — расчетное число жителей, которое должно приниматься в соответствии с проектом планировки города или поселка.

Вычисленный по нормам средний суточный расход воды в населенном месте дает лишь общую характеристику размеров водопотребления данного объекта[1]. Для составления проекта водоснабжения необходимо установить пределы возможных колебаний величины расхода в отдельные сутки года.

В населенном месте суточный расход воды меняется в течение года в связи с изменениями режима жизни населения и климатических условий, а также с сезонностью некоторых расходов воды.

Величина вероятного расхода воды в сутки максимального водопотребления, или так называемый «максимальный суточный расход», является тем основным расчетным расходом, на подачу которого должен быть рассчитан проектируемый водопровод.

В соответствии с действующими нормами суточный расход воды городом в дни наибольшего водопотребления определяется по формуле

$$S_{макс} = q_{макс}N,$$

где $q_{макс}$ принимается по табл. I 1.

В проекте новых норм рекомендуется определять $S_{макс}$ по формуле

$$S_{макс} = k_{макс}S,$$

где $k_{макс}$ — коэффициент суточной неравномерности, равный отношению наибольшего за год суточного расхода к среднему

При расчете систем водоснабжения следует учитывать возможные предельные отклонения суточного расхода воды (от среднего) не только в бо́льшую, но и в меньшую сторону

Наименьший суточный расход

$$S_{мин} = k_{мин}S,$$

где $k_{мин}$ — коэффициент суточной неравномерности, равный отношению наименьшего за год суточного расхода к среднему

Нормы строительного проектирования рекомендуют принимать $k_{макс} = 1{,}1—1{,}3$ и $k_{мин} = 0{,}7—0{,}9$

Большая неравномерность водопотребления в течение года обычно наблюдается при относительно малом числе жителей, малом развитии промышленности и относительно значительных сезонных колебаниях температуры

Для определения полной расчетной потребности в воде города или поселка на хозяйственно-питьевые нужды к полученному суточному расходу должно быть прибавлено количество воды, необходимой на хозяйственно-питьевые нужды рабочих во время их пребывания на производстве (по нормам, указанным в § 2) с учетом запланированного числа рабочих, числа рабочих смен и рода производства на предприятиях, расположенных в городе.

Кроме того, дополнительно должны быть вычислены расходы воды на поливку (по нормам, приведенным в табл. I 3) в соответствии с площадью улиц и зеленых насаждений, подлежащих поливке

Расход воды на производственные нужды промышленных предприятий определяется по заданиям промышленности.

Следует учитывать, что в водопроводах промышленных предприятий величина расхода воды в отдельные сутки года может изменяться в зависимости от режима работы предприятия. На некоторых предпри-

[1] Эта величина может быть использована, например, при определении требуемой емкости водохранилищ сезонного регулирования, служащих источником водоснабжения данного объекта.

ягиях режим расходования воды изменяется по сезонам. Например, расход воды на охлаждение и конденсацию пара зависит от температуры воды источника, поэтому суточный расход летом больше, чем зимой. В ряде случаев режим расходования воды на технические нужды промышленного предприятия не связан с временем года и суточный расход воды постоянен или меняется незначительно.

Таким путем определяется вероятный суммарный расход воды всеми возможными потребителями, расположенными на территории данного объекта.

В результате проектировщики получают расчетные расходы воды как общие — для всего объекта в целом, так и по отдельным категориям потребителей в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству воды. Анализ этих расходов и сопоставление их с мощностью пригодных (по качеству воды) источников водоснабжения позволяют правильно выбрать как самый источник, так и систему водоснабжения. Она может быть единой для всех потребителей или устраивается раздельно для каждой группы потребителей, нуждающихся в воде различного качества.

Глава 2

ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОДЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 4. ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ ВОД КАК ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Выбор источника является одной из наиболее ответственных задач при проектировании системы водоснабжения, так как он определяет в значительной степени характер самой системы, наличие в ее составе тех или иных сооружений, а следовательно, стоимость и строительства и эксплуатации.

Источник водоснабжения должен удовлетворять следующим основным требованиям:

а) обеспечивать получение из него необходимых количеств воды с учетом роста водопотребления на перспективу развития объекта;

б) обеспечивать бесперебойность снабжения водой потребителей;

в) давать воду такого качества, которое в наибольшей степени отвечает нуждам потребителей или позволяет достичь требуемого качества путем простой и дешевой ее очистки;

г) обеспечивать возможность подачи воды объекту с наименьшей затратой средств;

д) обладать такой мощностью, чтобы отбор воды из него не нарушал сложившуюся экологическую систему.

Правильное решение вопроса о выборе источника водоснабжения для каждого данного объекта требует тщательного изучения и анализа водных ресурсов района, в котором расположен объект.

Практически все используемые для целей водоснабжения природные источники воды могут быть отнесены к двум основным группам:

а) поверхностные источники — реки (в естественном состоянии или зарегулированные) и озера;

б) подземные источники — грунтовые и артезианские воды и родники.

По своему дебиту средние и крупные реки могут удовлетворить потребности в воде большинства обычных объектов водоснабжения.

При выборе реки в качестве источника водоснабжения необходимо учитывать сезонные колебания ее расхода с тем, чтобы возможность получения требуемых количеств воды была обеспечена и в период наименьшего расхода воды в реке. Совершенно очевидно, что водоснабжение не может быть основано на реках, периодически пересыхающих или полностью промерзающих в зимнее время (без устройства на них соответствующих водохранилищ).

Характерными качествами речной воды являются относительно большая мутность (особенно в период паводков), высокое содержание органических веществ, бактерий, часто значительная цветность. Наряду с этим речная вода характеризуется обычно относительно малым содержанием минеральных солей и, в частности, относительно небольшой жесткостью.

Вода озер обычно отличается весьма малым содержанием взвешенных веществ (т. е. малой мутностью или, иначе, большой прозрачностью), кроме прибрежной зоны, где мутность воды увеличивается в результате волнения. Степень минерализации озерной воды весьма различна.

Поверхностные источники характеризуются значительными колебаниями качества воды и количества загрязнений в отдельные периоды года.

Качество воды рек и озер в большой степени зависит от интенсивности выпадения атмосферных осадков, таяния снегов, а также от загрязнения ее поверхностными стоками и сточными водами городов и промышленных предприятий.

Сезонные колебания качества речной воды нередко бывают весьма резкими. В период паводка, как указывалось, сильно возрастает мутность и бактериальная загрязненность воды, но обычно снижается ее жесткость.

Подземные воды, как правило, не содержат взвешенных веществ (т. е. весьма прозрачны) и обычно бесцветны.

Артезианские воды, перекрытые сверху водонепроницаемыми породами, защищены от поступления проникающих с поверхности земли загрязненных стоков и обладают поэтому высокими санитарными качествами. Такими же качествами часто обладают и родниковые воды.

Наряду с этими положительными качествами подземные воды часто сильно минерализованы. В зависимости от характера растворенных в них солей они могут обладать теми или иными отрицательными свойствами (повышенная жесткость, наличие неприятного привкуса, содержание веществ, вредно влияющих на организм человека).

Сравнивая основные показатели качества воды природных источников с основными требованиями к качеству воды главных групп потребителей, можно сделать вывод, что для водоснабжения населенных мест наиболее подходящим источником являются подземные (особенно артезианские и родниковые) воды, если они не сильно минерализованы.

Как сказано, окончательный выбор источника водоснабжения для данного объекта производится в зависимости не только от качества воды в нем, но также от его мощности, удаленности от объекта, стоимости подачи и очистки воды.

Для крупных населенных мест дебит подземных источников весьма часто оказывается недостаточным. В этих случаях, несмотря на отрицательные качества поверхностных вод, приходится использовать их, производя соответствующую очистку.

Практика показывает, что водоснабжение большинства малых и значительной части средних по размерам населенных мест основано на использовании подземных источников.

Для водоснабжения большинства крупных городов приходится полностью или в значительной степени пользоваться поверхностными водами (с соответствующей их очисткой).

Что касается промышленных предприятий, то, как мы видели, наиболее крупные потребители воды могут использовать воду поверхностных источников без всякой ее очистки (или с весьма примитивной очисткой). В то же время для большинства производственных потребителей не допускается использование воды с большой жесткостью. В связи с этим для крупных промышленных потребителей как по качеству, так и по мощности наиболее подходящим источником оказываются поверхностные воды.

Следует отметить, что в настоящее время водоснабжение некоторых крупных промышленных предприятий основано на использовании морской воды. Морская вода, содержащая, как известно, большое количество минеральных солей, обладает относительно невысокой карбонатной жесткостью. Такая вода может быть с успехом применена в производственном водоснабжении для охлаждения.

§ 5. ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЮДЕЙ НА ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При современной степени развития хозяйственной деятельности людей она оказывает существенное влияние на состояние источников водоснабжения как в отношении их дебита, так и в отношении качества воды.

Прежде всего следует учитывать, что природные воды используются комплексно, т. е. не только для водоснабжения, но и для многих других целей: орошения, гидроэнергетики, водного транспорта, лесосплава и др. При этом может осуществляться отбор воды из источника (водоснабжение, орошение) или только использование водоема без отбора воды (водный транспорт, лесосплав). Таким образом, можно различать водопотребителей и водопользователей.

Ряд крупных водопотребителей и водопользователей уже не может удовлетвориться использованием рек в их естественном состоянии. Как известно, для целей гидроэнергетики обычно осуществляется регулирование речного стока путем устройства плотин и образования водохранилищ, что дает возможность сезонного регулирования (аккумуляция паводковых вод), а иногда и многолетнего регулирования стока (т. е. накопление в водохранилищах в многоводные годы излишков воды и расходование их в маловодные годы).

Иногда количество воды, требуемой для некоторых крупных производственных предприятий, столь велико, что его можно получить из местных рек также только при условии регулирования их стока. К таким предприятиям прежде всего следует отнести тепловые электростанции. Регулирование речного стока осуществляется также и для целей орошения.

В результате широкого проведения мероприятий по регулированию речного стока многие реки в наиболее густо населенных и промышленно развитых районах превращаются постепенно в систему последовательно расположенных водохранилищ.

В настоящее время наиболее крупные реки европейской части

СССР (Волга и ее притоки, Днепр и др.) в значительной степени зарегулированы.

В результате строительства гидроузлов Иваньковского, Угличского, Рыбинского, Горьковского, Куйбышевского, Волгоградского Волга на большей части своей длины превратилась в систему крупных водохранилищ. После строительства Чебоксарской и Нижне-Волжской станций на Волге, а также Верхне-Камской и Нижне-Камской на Каме (в дополнение к уже существующим Пермской и Воткинской ГЭС) строительство Волжско-Камского каскада гидроузлов будет в основном завершено; суммарная площадь водохранилищ этого бассейна возрастет почти до 30 000 км^2.

Близка к завершению система сооружений, использующих гидроэнергетические ресурсы Днепра.

Рациональное решение вопросов использования водных ресурсов и обеспечения интересов всех видов водопотребителей и водопользователей возможно только при условии их рассмотрения как комплексных водохозяйственных проблем.

В бассейне Волги располагаются густо населенные районы страны с высокоразвитыми промышленностью и сельским хозяйством. Волга и ее притоки служат источником водоснабжения ряда крупнейших городов страны (в том числе и Москвы) и громадного количества промышленных предприятий. Потенциальные гидроэнергоресурсы Волжской системы составляют более 50 млрд. квт·ч. Одновременно Волга является одной из крупных артерий речного транспорта, а также районом крупного рыбоводства; в пределах ее нижнего течения намечается создание больших массивов орошаемого земледелия.

Реконструкция Днепра имеет целью не только использование его энергетических ресурсов, но и орошение земель юга Украины, Донбасса и Северного Крыма. Днепр и его притоки являются также источником водоснабжения ряда крупных городов Белоруссии и Украины и большого числа промышленных предприятий. На Днепре у Киева и ниже его по течению построены три мощные гидроэлектростанции и строятся еще две. После постройки последней (Каневской) станции Днепр ниже впадения в него Припяти превратится в непрерывную систему водохранилищ.

Подобная реконструкция рек существенно отражается на их гидрологическом режиме, сезонное распределение стока значительно изменяется: половодья сглаживаются, меженный и зимний стоки повышаются. Одновременно образование водохранилищ ведет к некоторому увеличению потерь на испарение.

В результате проведения мероприятий по регулированию стока рек в настоящее время очень часто приходится использовать в качестве природных источников водоснабжения искусственно созданные водохранилища.

Изменение естественного гидрологического режима рек при устройстве плотин и водохранилищ в значительной мере сказывается на качестве речной воды и на сезонных колебаниях ее качества.

Существенным видом влияния хозяйственной деятельности людей на природные водоемы является сброс в них сточных вод городов и промышленных предприятий, а также смыв с сельскохозяйственных полей удобрений, ядохимикатов, пестицидов и т. п.

Количество сточных вод, сбрасываемых в водоемы, с каждым годом увеличивается и приводит к сильному их загрязнению и ухудшению качеств воды (особенно санитарных качеств).

Наиболее неблагоприятное влияние на санитарное состояние водоемов оказывают сточные воды промышленных предприятий, сбрасываемые в водоемы без надлежащей очистки. Трудность и высокая стоимость очистки сточных вод предприятий ряда отраслей промышленности задерживают своевременное строительство и пуск в эксплуатацию очистных сооружений производственной канализации.

В силу сложившейся обстановки в настоящее время многие реки в населенных и промышленно развитых районах уже в значительной степени загрязнены производственными стоками. Основными «загрязнителями» воды являются предприятия нефтеперерабатывающей, бумажно-целлюлозной, металлургической и ряда отраслей химической промышленности.

Громадное количество воды, сбрасываемой тепловыми станциями (после использования для конденсации пара), вызывает повышение температуры воды водоема, способствующее развитию фитопланктона, зарастанию и цветению водоема, повышению цветности воды, запахов и привкусов, т. е. ведет к существенному ухудшению санитарного состояния водоемов.

В целях удовлетворения санитарных требований, предъявляемых к качеству воды источников, используемых для водоснабжения населенных мест, Государственным санитарным надзором в СССР установлены строгие правила, ограничивающие сброс загрязненных сточных вод в водоемы.

Влияние хозяйственной деятельности людей и необходимость проведения мероприятий по преобразованию источников водоснабжения особенно резко проявляются в относительно маловодных районах.

Недостаток дебита местных источников приводит к необходимости возможно более полного зарегулирования местного речного стока, а также использования удаленных источников водоснабжения. Получение воды из удаленных источников может быть осуществлено путем строительства подводящих воду каналов, перекачки воды по трубопроводам непосредственно к потребителям или путем искусственной переброски воды в верховья местных рек для увеличения их дебита.

Ярким примером такого вмешательства человека в природную обстановку является реконструкция водного хозяйства ряда маловодных районов СССР (Донбасс, Кузнецкий бассейн, Карагандинский район Казахстана, некоторые районы промышленного Урала и др.). Наличие месторождений полезных ископаемых обусловило в этих районах бурное развитие различных отраслей промышленности, предприятий энергетики, рост населенных мест, для которых требуются весьма большие количества воды.

Скудные запасы собственных подземных вод, а также относительно небольшие и сильно загрязненные реки (при почти полном зарегулировании их стока) не могли удовлетворить потребностей в воде ни населенных мест, ни промышленности этих районов.

Для подачи воды в Донбасс был построен канал длиной почти 150 км, подающий воду из р. Северский Донец, а также водовод такого же протяжения, подающий воду из подземных источников для хозяйственно-питьевых нужд.

Дополнительно к этим сооружениям предполагается построить канал для подачи воды в Донбасс из Днепра. Уже построен и эксплуатируется канал, подающий воду из Днепра в Криворожский промышленный район. Построен канал протяжением около 500 км, подающий воду в Карагандинский район из Иртыша. Построены каналы, подающие воду из Волги в Москву, из Волги в Иваново и ряд других.

§ 6. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СССР И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

По своим водным ресурсам Советский Союз занимает первое место в мире. Суммарные водные ресурсы СССР оцениваются (для среднего по водности года) в 4340 км³/год. Из них 3430 км³/год приходится на поверхностный сток и 910 км³/год — на подземный.

Ввиду значительного разнообразия природных условий в отдельных районах страны распределение ресурсов поверхностных вод по ее территории весьма неравномерно. Северные, западные и центральные районы европейской части СССР обладают значительно бо́льшими ресурсами поверхностных вод, чем южные и особенно юго-восточные районы. Наименее обеспечены водой республики Туркменская, Казахская, Узбекская, Азербайджанская и Молдавская.

Особое значение для обеспечения населения питьевой водой имеют подземные воды. Распределение ресурсов подземных вод по территории СССР также весьма неравномерно.

По ориентировочным данным гидрогеологических организаций, суммарный объем эксплуатационных запасов подземных вод, т. е. количества воды, которое можно отбирать в единицу времени для целей водоснабжения в течение неограниченно долгого времени без существенного изменения качества забираемой воды, в СССР (без Восточной Сибири и Дальнего Востока) составляет около 3500 м³/с. Сюда не входят воды с повышенной минерализацией, обычно не используемые для водоснабжения.

Распределение ресурсов подземных вод по отдельным районам страны может быть в общем охарактеризовано так.

Крупные бассейны артезианских и грунтовых вод с большими эксплуатационными запасами имеются в западной части Союза (Белоруссия, Прибалтика), в центральных районах европейской части РСФСР, на севере Украины, Северном Кавказе и в некоторых районах Сибири. Отдельные водосборы в названных районах могут давать до сотен и даже до тысяч литров в секунду и, следовательно, могут быть использованы для обеспечения водой крупных городов.

Умеренными и малыми эксплуатационными запасами подземных вод обладают северные и северо-восточные районы европейской части СССР, Предуралье и Зауралье, юг Украины, Молдавия, долины рек Амударьи и Сырдарьи, Кузнецкий бассейн, верховья рек Лены и Ангары и др. Отдельные водосборы в этих районах могут давать от единиц до нескольких десятков литров в секунду. Следовательно, они могут удовлетворять потребность в воде только малых городов и поселков.

Межгорные артезианские бассейны республик Закавказья и Средней Азии, а также Юго-Восточного Казахстана обладают большими эксплуатационными запасами, которые могут быть использованы для снабжения водой крупных городов и сельскохозяйственных массивов.

Пестрое и неравномерное распределение ресурсов подземных вод имеется на Урале, в Крыму, Центральном Казахстане, на Алтае, в Саянах и Приморье.

Весьма бедны подземными водами Прикаспийские районы, Туркмения и значительная часть Казахстана.

Общее количество воды, забираемой в настоящее время из природных источников централизованными водопроводами городов и рабочих

поселков СССР, составляет около 7 км³/год, т. е. около 220 м³/с. В это количество входит вода, которая идет на удовлетворение хозяйственно-питьевых нужд населения, а также вода, забираемая из городского водопровода на технологические нужды некоторых промышленных предприятий.

Из общего количества воды, подаваемой в настоящее время в города и рабочие поселки, около 84% приходится на поверхностные источники и лишь около 16% — на подземные.

Учитывая преимущества подземных вод в отношении их гигиенических качеств, следует ожидать в последующие годы значительного увеличения их использования для водоснабжения населенных мест.

В целях наиболее разумного использования природных источников, учета интересов всех возможных водопотребителей и водопользователей, а также в целях охраны источников от истощения и загрязнения на министерства мелиорации и водного хозяйства СССР и союзных республик возложено общее руководство использованием водных ресурсов и их охраной. Кроме того, все вопросы санитарной охраны источников питьевого водоснабжения и соблюдений требований к качеству питьевой воды решаются в СССР органами Государственного санитарного надзора.

Раздел II

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И РЕЖИМЕ ИХ РАБОТЫ

Глава 3

СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 7. СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений для обеспечения определеннои (данной) группы потребителей (данного объекта) водой в требуемых количествах и требуемого качества. Кроме того, система водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, т е обеспечивать снабжение потребителей водой без недопустимого снижения установленных показателей своей работы в отношении количества или качества подаваемой воды (перерывы или снижение подачи воды или ухудшение ее качества в недопустимых пределах).

После того как будет определен необходимый объем водопотребления объекта и будут собраны сведения о возможных для использования природных источниках, может быть выбран источник и намечена схема водоснабжения

Система водоснабжения (населенного места или промышленного предприятия) должна обеспечивать получение воды из природных источников, ее очистку, если это вызывается требованиями потребителей, и подачу к местам потребления Для выполнения этих задач служат следующие сооружения, входящие обычно в состав системы водоснабжения:

а) водоприемные сооружения, при помощи которых осуществляется прием воды из природных источников,

б) водоподъемные сооружения, т е насосные станции, подающие воду к местам ее очистки, хранения или потребления,

в) сооружения для очистки воды,

г) водоводы и водопроводные сети, служащие для транспортирования и подачи воды к местам ее потребления,

д) башни и резервуары, играющие роль регулирующих и запасных емкостей в системе водоснабжения

Схема взаимного расположения основных сооружений системы водоснабжения показана на рис. II 1. Вода забирается из источника при помощи водоприемного сооружения *1* и подается насосами, установленными на станции первого подъема *2а*, на очистные сооружения *3* После очистки вода поступает в сборный резервуар *4*, из которого забирается другой группой насосов, установленных на станции второго подъема *2б*, и по водоводам *5* подается в сеть труб *6*, разводящих воду к местам потребления Водонапорная башня (или напорный резервуар) *7* может быть расположена в начале сети (см рис. II 1), в конце ее или в какой-либо промежуточной точке сети Порядок расположения прочих сооружений также может быть различен Так, насосы первого и второго подъема могут быть установлены в отдельных зданиях (как на рис II 1) или размещены в одном здании Иногда насосы первого подъема устанавливаются непосредственно в водоприемном сооружении В некоторых случаях очистные сооружения и связанные с ними резервуар и на-

сосную станцию второго подъема располагают не возле источника (как на рис. II.1), а вблизи потребляющего воду объекта (города, поселка или промышленного предприятия).

В зависимости от местных природных условий и характера потребления воды, а также в зависимости от экономических соображений схема водоснабжения и составляющие ее элементы могут меняться весьма

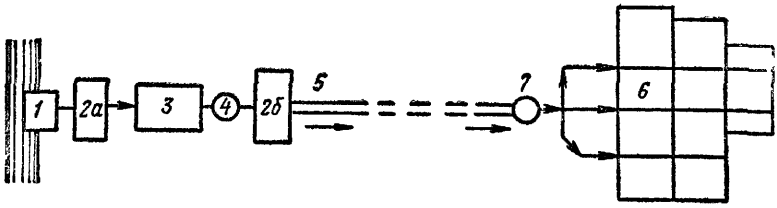


Рис. II 1

сильно. Большое влияние на схему водопровода оказывает принятый источник водоснабжения: его характер, мощность, качество воды в нем, расстояние от него до снабжаемого водой объекта и т. п. Иногда для одного объекта используется несколько природных источников.

При использовании поверхностных вод применяют водоприемные сооружения различных типов и конструкций, представляющие собой иногда

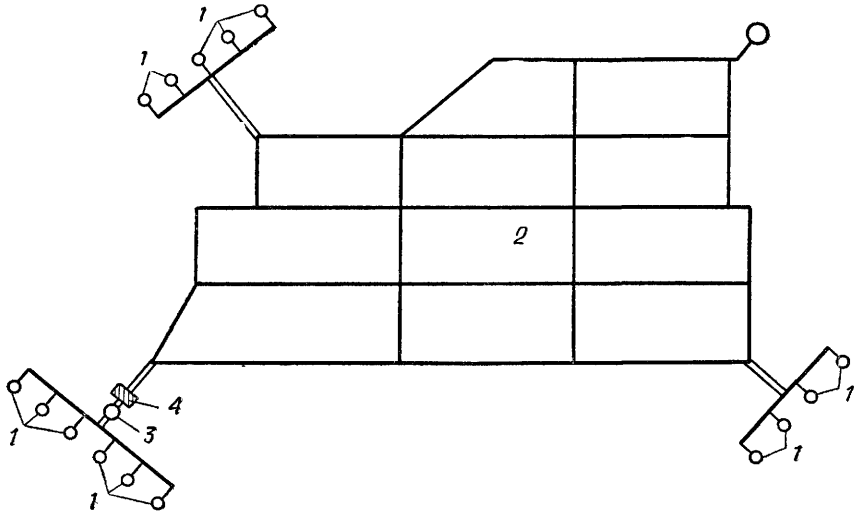


Рис. II 2

весьма сложные гидротехнические сооружения. При использовании подземных вод водоприемные сооружения выполняют в виде колодцев (шахтных или буровых), водосборных галерей, а для захвата родников—в виде различных каптажных сооружений.

Характер источника влияет на всю схему водоснабжения в целом.

Сопоставление качества воды данного источника и требований, предъявляемых к ней потребителями, определяет необходимость очистки воды, а также степень и характер ее очистки или обработки. Так, при использовании для водопроводов населенных мест артезианских или

весьма чистых родниковых вод иногда оказывается возможным обойтись без очистки воды. Воды поверхностных водоемов также могут быть использованы без очистки на ряде промышленных предприятий (в частности, для охлаждения агрегатов).

Если очистка воды не требуется, система водоснабжения сильно упрощается. Отпадает необходимость не только в очистных сооружениях, но часто и в связанных с ними резервуарах и насосах второго подъема.

Подобная система для случая снабжения города артезианскими водами представлена на рис. II.2. Здесь артезианские скважины (буровые колодцы) *1* расположены отдельными группами. Насосы помещаются в самих колодцах и могут подавать воду непосредственно в сеть *2*. Иногда и в такой системе водоснабжения вода из скважин подается сначала в сборный резервуар *3* (служащий регулирующей и запасной емкостью) и оттуда перекачивается насосами станции второго подъема *4* в сеть *2*.

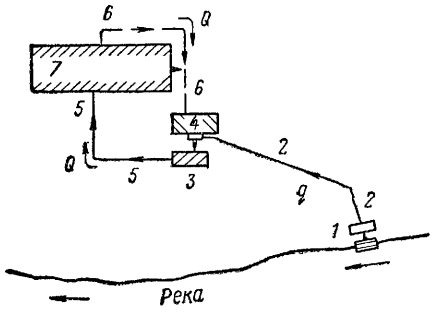


Рис II 3

1 — насосная станция «свежей» воды; *2* — водоводы «свежей» воды; *3* — насосная станция оборотной воды (оборотного цикла); *4* — водоохлаждающие устройства; *5* — линии, подающие охлажденную воду; *6* — линии, отводящие отработанную нагретую воду; *7* — промышленное предприятие

Рельеф местности также оказывает влияние на схему водоснабжения.

В гористых местностях источники водоснабжения (озера, водохранилища, родники) могут находиться на отметках, значительно превышающих отметки территории снабжаемого объекта. В этом случае воду можно подавать к местам потребления самотеком, и устройства насосных станций не требуется. Рассмотренная выше общая схема водоснабжения (см. рис. II.1) охватывает лишь наиболее частые случаи. На практике приходится встречаться с большим разнообразием схем водоснабжения, вызываемым местными природными условиями и различными требованиями потребителей. В особенности это относится к водопроводам промышленных предприятий.

Большая часть изложенных выше соображений и рассмотренные варианты схем могут быть отнесены к водопроводам как населенных мест, так и промышленных предприятий. Существуют, однако, системы водоснабжения, применяемые исключительно для промышленных предприятий. К ним в первую очередь относятся так называемые системы оборотного водоснабжения. В ряде промышленных предприятий вода после использования ее для технических целей не загрязняется совсем или загрязняется весьма незначительно и лишь нагревается (например вода, используемая для охлаждения производственных агрегатов, конденсации пара и др.). При недостаточной мощности природного источника или большой стоимости подачи из него требуемого количества воды (например, вследствие удаленности источника) оказывается необходимым или экономически целесообразным сбрасываемую предприятием (или отдельным цехом) воду охлаждать и подавать снова для использования на том же объекте. При этом из источника должно добавляться только некоторое количество «свежей» воды для восполнения потерь при обороте. Количество «свежей» воды q в таких системах составляет обычно незначительную часть (3—5%) общего количества используемой воды Q.

Схема системы оборотного водоснабжения приведена на рис. II.3. В качестве водоохлаждающих устройств применяют пруды, брызгальные бассейны и градирни (см. главу 30). «Свежая» вода обычно подается в бассейн, в котором собирается охлажденная вода. В некоторых случаях оборотную воду приходится не только охлаждать, но и подвергать очистке. Иногда системы оборотного водоснабжения применяют для воды, которая при использовании не нагревается, а загрязняется сравнительно легко удаляемыми примесями. В таких случаях для осветления воды применяют отстойники.

Иногда оборот воды в системах производственного водоснабжения устраивается при значительном загрязнении воды в процессе производства. В этих случаях применение оборота позволяет снизить количество сбрасываемых загрязненных (и часто — трудно очищаемых) вод.

Когда вода, сбрасываемая одним из промышленных потребителей, может быть использована другим, устраивают так называемые системы повторного использования воды. Эти системы также позволяют снизить количество «свежей» воды, забираемой из источника. Описание основных систем и сооружений оборотного водоснабжения и повторного использования воды приводится в разделе VII.

В настоящее время все большее развитие получают групповые и районные водопроводы, при которых одна система водоснабжения обслуживает несколько объектов, иногда различного назначения (населенные места, промышленные предприятия, сельское хозяйство и др.). Обслуживание ряда объектов одной системой водоснабжения дает значительные преимущества, так как стоимость объединенного водопровода обычно ниже, чем суммарная стоимость индивидуальных систем для каждого отдельного объекта. При этом снижаются и расходы на эксплуатацию системы. Подобное кооперирование позволяет планово, разумно и экономично решать важнейшие проблемы водоснабжения.

Устройство районных систем водоснабжения особенно целесообразно для маловодных районов, когда воду приходится подавать от далеко расположенных (от мест потребления) природных источников. В этих случаях кооперирование отдельных объектов водоснабжения и обслуживание их единой системой подачи воды имеют большие экономические преимущества.

Районные водопроводы устраивают как в Советском Союзе, так и за рубежом. Однако в капиталистических странах объединение отдельных потребителей в каком-либо районе осложняется из-за противоречивых интересов владельцев земель и промышленных предприятий. В СССР же с его социалистическим плановым хозяйством для развития районных систем водоснабжения имеются исключительно благоприятные условия.

§ 8. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Системы водоснабжения могут классифицироваться по ряду основных признаков.

По назначению различают системы водоснабжения (водопроводы) населенных мест (городов, поселков); системы производственного водоснабжения (производственные водопроводы), которые, в свою очередь, различают по отраслям промышленности (водопроводы тепловых электростанций, водопроводы металлургических заводов и т. д.); системы сельскохозяйственного водоснабжения.

При обслуживании одной системой водоснабжения ряда объектов устраивают, как было сказано, групповые или районные системы водоснабжения.

В пределах одного объекта в соответствии с объединением различных функций устраивают водопроводы хозяйственно-питьевые, хозяйственно-противопожарные и хозяйственно-производственные (см. § 9).

По характеру используемых природных источников различают водопроводы, получающие воду из поверхностных источников (речные, озерные и т. д.); водопроводы, основанные на подземных водах (артезианские, родниковые и т. п.); водопроводы смешанного питания — при использовании источников различных видов.

По способу подачи воды различают водопроводы самотечные (гравитационные); водопроводы с механической подачей воды (с помощью насосов), а также зонные водопроводы, где вода подается в отдельные районы отдельными насосными станциями (см. главу 8).

Кроме того, в соответствии со сказанным выше системы производственного водоснабжения можно различать по способу (кратности) использования воды: системы прямоточного водоснабжения (с однократным использованием воды); системы оборотного водоснабжения; системы с повторным использованием воды.

§ 9. СООБРАЖЕНИЯ О ВЫБОРЕ ОБЪЕДИНЕННОЙ ИЛИ РАЗДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ПРЕДЕЛАХ ОБЪЕКТА

На территории большинства реальных объектов (города, поселки, промышленные предприятия) существуют одновременно различные категории водопотребителей, предъявляющих разнообразные требования к качеству и количеству потребляемой воды, к располагаемым давлениям в сети и т. п.

В соответствии со сказанным в § 1 все разнообразные виды водопотребления могут быть отнесены к трем основным категориям: расход воды на хозяйственно-питьевые нужды, расход воды для производственных (технических) целей на предприятиях промышленности, транспорта, энергетики и расход воды на пожаротушение.

В зависимости от назначения объекта и требований, предъявляемых потребителями к качеству воды, а также от экономических условий в пределах объекта может устраиваться единая система водоснабжения для всех указанных целей (единый многоцелевой водопровод) или же для отдельных (основных) категорий водопотребления могут быть устроены самостоятельные водопроводы.

Одним из наиболее характерных и распространенных объектов водоснабжения является город.

В городах обычно устраивают единый хозяйственно-противопожарный водопровод. Этот же водопровод подает воду для хозяйственно-питьевых нужд промышленных предприятий, расположенных в городе, и для технических нужд тех предприятий, для которых требуется вода питьевого качества (например, для предприятий пищевой промышленности).

Для тех промышленных предприятий города, которые являются крупными потребителями воды и могут использовать неочищенную (или малоочищенную) воду, обычно устраивают самостоятельные (отдельные от городского) производственные водопроводы. Иногда такие

водопроводы устраивают для групп предприятий, расположенных в одном районе города.

Обычно в городах имеется также ряд промышленных предприятий, каждое из которых потребляет относительно небольшое количество воды и не требует воды питьевого качества. Вследствие их разбросанности по территории города оказывается все же более целесообразным снабжать их очищенной водой из сети городского водопровода, чем устраивать для них самостоятельные производственные водопроводы неочищенной воды. В настоящее время во многих городских водопроводах расход воды на технологические нужды промышленности остается пока весьма значительным.

Другим характерным типом реальных объектов водоснабжения являются крупные промышленные предприятия, расположенные вне городской территории. При проектировании водопровода такого промышленного предприятия необходимо учитывать расходы воды на производственные нужды предприятия, на хозяйственно-питьевые нужды рабочих во время их пребывания на производстве, в том числе на прием ими душей, на поливку заводских проездов и зеленых насаждений и, наконец, на тушение пожара. Обычно при заводе имеется рабочий поселок, для которого дополнительно должен быть учтен расход воды на хозяйственно-питьевые нужды населения и на тушение пожара в поселке.

На промышленном предприятии могут устраиваться как объединенные, так и раздельные системы для подачи воды на производственные и хозяйственно-питьевые нужды.

Единую систему (сеть для подачи воды на хозяйственно-питьевые и производственные нужды) устраивают обычно лишь в тех случаях, когда к качеству воды, идущей на производство, предъявляются те же требования, что и к питьевой воде (например, на предприятиях пищевой промышленности).

В большинстве случаев на территории промышленного предприятия устраивают раздельные системы водоснабжения для производственного и хозяйственно-питьевого водопотребления, подающие воду различного качества (с различной степенью очистки или от разных источников).

В ряде случаев система производственного водоснабжения значительно усложняется тем, что отдельные производственные потребители, входящие в состав предприятия, предъявляют существенно различные требования к качеству воды. Это вызывает необходимость устройства нескольких систем производственного водоснабжения на одном и том же предприятии. Иногда устройство нескольких раздельных систем производственного водоснабжения обусловливается тем, что для отдельных цехов требуются различные давления в сетях. Устройство на территории предприятия нескольких сетей разных напоров позволяет сократить общее количество энергии, расходуемой на подачу воды (см. главу 8).

Вопросы объединения противопожарного водопровода с хозяйственно-питьевым или производственным водопроводом решаются на основе технико-экономических расчетов.

Противопожарные функции чаще всего выполняются системой хозяйственно-питьевого водопровода, имеющего всегда большую разветвленность на территории предприятия. Иногда эти функции возлагаются на систему производственного водопровода (когда это допустимо по условиям снабжения водой производственных потребителей). Наконец, на некоторых предприятиях приходится устраивать отдельные системы противопожарных водопроводов.

Глава 4

РЕЖИМ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 10. РЕЖИМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В ТЕЧЕНИЕ СУТОК

Приведенные выше схемы водоснабжения определяют лишь наличие и взаимное расположение отдельных элементов системы водоснабжения.

Размеры отдельных сооружений и установок, число и мощность насосов, емкость резервуаров, высоту и емкость водонапорных башен, диаметры труб находят путем расчета этих элементов в соответствии с количеством подаваемой ими воды и с намеченным для них режимом работы.

Очевидно, основным фактором, определяющим режим работы всех элементов системы водоснабжения, является режим расходования воды потребителями, которых эта система должна обслуживать.

В отличие от многих инженерных систем, которые рассчитываются по заранее известным и заданным нагрузкам, системы водоснабжения после их пуска в работу должны удовлетворять фактическим требованиям потребителей, непрерывно меняющимся по графику, который в ряде случаев не может быть предусмотрен заранее сколько-нибудь достоверно.

Между тем принятые графики режима водопотребления кладутся в основу расчета водопроводных сетей и сооружений и определяют в значительной степени стоимость системы и расходы на ее эксплуатацию.

Поэтому возможно более точное установление (прогнозирование) режима водопотребления представляет собой одну из наиболее ответственных задач при проектировании систем водоснабжения.

Для некоторых потребителей решение этой задачи не представляет затруднений. Так, при проектировании водопроводов промышленных предприятий режим расхода воды на производственные нужды (график водопотребления) задается достаточно точно в соответствии с технологическим проектом предприятия. То же можно сказать о производственных водопроводах предприятий энергетики и транспорта.

Гораздо сложнее прогнозировать режим водопотребления при проектировании водопроводов населенных мест. В таких водопроводах режим расходования воды населением определяется целым рядом факторов бытового характера, связанных с режимом жизни и трудовой деятельностью людей.

Единственным правильным методом решения задачи является изучение и анализ режима расходования воды в существующих водопроводах населенных мест и выявление основных факторов, влияющих на характер режима водопотребления города (общая численность населения, степень индустриализации, климатические условия и т. п.). Для этого должны широко использоваться статистические данные о фактических режимах работы систем водоснабжения.

Как сказано в § 2, в основу определения количеств воды, расходуемой на одного жителя в сутки, кладется опыт работы существующих водопроводов. Этот опыт позволяет также наметить вероятный режим водопотребления в течение суток.

Чтобы наиболее правильно и экономично запроектировать режим работы отдельных элементов системы, необходимо принять вероятный график водопотребления в течение суток, т. е. вероятные колебания часовых расходов в течение суток.

Прогнозирование таких графиков весьма затруднительно.

Характер их, как показывает опыт, для одного и того же города изменяется в отдельные сезоны года и даже в отдельные сутки.

Характер изменений часовых расходов воды зависит от весьма большого числа факторов: общей численности населения, степени развития промышленности в городе и графиков работы промышленных предприятий, наличия в городе предприятий внешнего транспорта (вокзалы, аэропорты и т. п.), объема и режима их работы и др.

Влияние всех указанных факторов на режим водопотребления различно: чем больше число жителей, тем вообще более пологим будет суточный график расходования воды; круглосуточная работа промышленных предприятий также ведет к более равномерному водопотреблению; при значительном числе предприятий, работающих в одну смену, графики расходования воды будут более контрастными.

Графики прибытия и отправления поездов и самолетов могут существенно влиять на характер графиков водопотребления.

Очевидно, особый интерес для расчета водопроводных сооружений будут иметь наибольшие вероятные часовые расходы воды в сутки (и, в частности, в сутки наибольшего водопотребления).

Отношение наибольшего часового расхода $Q_{макс}$ к среднему за сутки часовому расходу $Q_{ср}$ дает коэффициент часовой неравномерности водопотребления

$$\alpha_{макс} = \frac{Q_{макс}}{Q_{ср}}, \text{ или } Q_{макс} = \alpha_{макс} Q_{ср}.$$

Действующие нормы дают значения коэффициентов часовой неравномерности водопотребления $\alpha_{макс}$ (см. табл. I.1) для различной степени санитарно-технического оборудования зданий.

В проекте новых норм рекомендуется учитывать также средние и наинизшие значения часовых расходов за «расчетные» сутки:

$$Q_{мин} = \alpha_{мин} Q_{ср},$$

где соответствующий коэффициент неравномерности может быть определен из расчетного графика как

$$\alpha_{мин} = \frac{Q_{мин}}{Q_{ср}}.$$

В соответствии с указанными нормами величины $\alpha_{макс}$ и $\alpha_{мин}$ определяются как произведение двух коэффициентов:

$$\alpha_{макс} = \alpha_{макс} \beta_{макс}$$

и

$$\alpha_{мин} = \alpha_{мин} \beta_{мин}.$$

Коэффициент $\alpha_{макс}$ рекомендуется принимать в пределах 1,2—1,6, коэффициент $\alpha_{мин}$ — в пределах 0,4—0,6.

Коэффициенты β (в основном отражающие влияние численности населения) рекомендуется принимать по табл. II.1.

Таблица II.1

Число жителей в тыс.	$\beta_{макс}$	$\beta_{мин}$	Число жителей в тыс.	$\beta_{макс}$	$\beta_{мин}$
До 1	2	0,1	10	1,3	0,4
1,5	1,8	0,1	20	1,2	0,5
2,5	1,6	0,1	50	1,15	0,6
4	1,5	0,2	100	1,1	0,7
6	1,4	0,25	300	1,05	0,83
			1000 и более	1	1

В приведенных выражениях часовых расходов средний часовой расход для суток наибольшего, среднего и наименьшего водопотребления, очевидно, будет соответственно равен $S_{макс}/24$, $S/24$ и $S_{мин}/24$

Проект новых норм строительного проектирования рекомендует рассматривать в качестве основных, характерных для системы водоснабжения, расчетных расходов следующие наибольший, средний и наименьший часовые расходы в сутки наибольшего водопотребления, средний часовой расход в сутки среднего водопотребления и наименьший часовой расход в сутки наименьшего водопотребления

Отбор воды из сети в течение каждого часа также колеблется. Однако учет этого колебания весьма сложен и обычно не представляет практического интереса, так как не может существенно повлиять на точность расчета водопроводных сооружений. Поэтому при расчете систем водоснабжения условно принимают, что расход в течение часа остается постоянным (если потребитель не дает специальных указаний о режиме расходования воды в пределах часа).

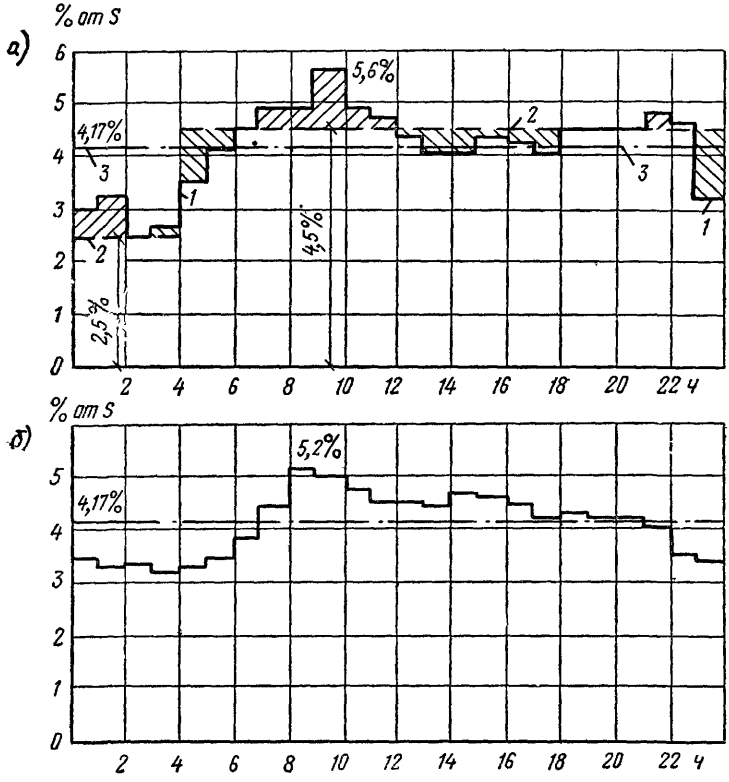


Рис II 4

Для расчета некоторых сооружений систем водоснабжения (например, для определения объемов регулирующих емкостей) кроме предельных значений часовых расходов необходимо задаваться вероятным графиком водопотребления в пределах «расчетных» суток, используя для этого замеренные в натуре графики водопотребления для эксплуатируемых систем водоснабжения, работающих в аналогичных или близких к проектным условиях. Примеры таких графиков приведены на рис. II.4. Часовые расходы здесь выражены в процентах от суточного. В каждом из графиков водопотребления отношение его наибольшей

и наименьшей ординат к средней (4,17%) дает соответственно коэффициенты часовой неравномерности $\alpha_{макс}$ и $\alpha_{мин}$. Величины расходов в отдельные часы суток (в процентах от суточного расхода) для этих примеров даны в табл. II.2.

Таблица II.2

Часы суток	Часовой расход в % от суточного при		Часы суток	Часовой расход в % от суточного при	
	α=1,35 (рис. II 4, *а*)	α=1,25 (рис. II.4, *б*)		α=1,35 (рис. II.4, *а*)	α=1,25 (рис. II.4, *б*)
0—1	3	3,35	12—13	4,4	4,6
1—2	3,2	3,25	13—14	4,1	4,55
2—3	2,5	3,3	14—15	4,1	4,75
3—4	2,6	3,2	15—16	4,4	4,7
4—5	3,5	3,25	16—17	4,3	4,65
5—6	4,1	3,4	17—18	4,1	4,35
6—7	4,5	3,85	18—19	4,5	4,4
7—8	4,9	4,45	19—20	4,5	4,3
8—9	4,9	5,2	20—21	4,5	4,3
9—10	5,6	5,05	21—22	4,8	4,2
10—11	4,9	4,85	22—23	4,6	3,75
11—12	4,7	4,6	23—24	3,3	3,7

Условность принимаемых при проектировании графиков водопотребления неизбежна. Отличие действительного режима водопотребления от принятого в расчете не создает особых затруднений, так как может быть в определенной степени компенсировано соответствующей корректировкой эксплуатационных графиков подачи воды насосами.

Неравномерность расходования воды в течение суток на производственные нужды определяется особенностями технологического процесса и способами потребления воды, а также зависит от числа смен работы предприятия в сутки. Многие промышленные предприятия (в частности те, которые используют воду для охлаждения) потребляют воду весьма равномерно в течение суток.

График расходования воды из городского водопровода на технические нужды промышленных предприятий принимается в зависимости от режима забора ими воды из городской сети.

Часто промышленные предприятия имеют свои регулирующие емкости, и тогда подачу воды им из сети городского водопровода можно считать равномерной в течение суток.

Очевидно, что при проектировании городского водопровода должен быть составлен суммарный график расходования воды на хозяйственно-питьевые нужды населения и отбора воды промышленными предприятиями.

§ 11. РЕЖИМ ПОДАЧИ ВОДЫ И РАБОТЫ ВОДОПРОВОДНЫХ СООРУЖЕНИЙ

а. Связь отдельных элементов системы водоснабжения в отношении расходов

После того как будет принят (или задан) режим водопотребления, может быть установлен режим подачи воды и режим работы отдельных сооружений системы водоснабжения.

Все эти сооружения должны быть рассчитаны, в частности, на работу в сутки максимального водопотребления (т. е при $S_{макс}$).

Насосные станции должны подавать за сутки полный суточный расход воды объектами.

Рассмотрим связь между режимом работы отдельных элементов водопровода на примере простейшей схемы городского водопровода, приведенной на рис. II.1 Здесь вода подается от одной насосной станции второго подъема. Башня расположена в начальной точке сети. Предположим, что рассматриваемая сеть не имеет других источников питания. Пусть режим расходования воды городом в течение суток задан графиком водопотребления *1*, приведенным на рис. II.4, *а*.

Водопроводная сеть подает воду непосредственно к водоразборным устройствам, через которые население получает воду. Следовательно, режим работы сети в целом определяется режимом водоразбора и может характеризоваться тем же графиком водопотребления.

График работы насосной станции второго подъема должен назначаться в зависимости от принятого графика водопотребления. Однако это не значит, что график подачи воды может или должен в точности совпадать с графиком ее расходования. При подаче воды насосами определенной производительности в отдельные часы суток количество поданной воды не будет совпадать с количеством израсходованной.

Предположим, что в рассматриваемом случае на насосной станции второго подъема установлены два насосных агрегата (не считая запасных), из которых первый работает один в период с 0 до 4 ч, подавая за час 2,5% суточного расхода (максимального); второй вступает в работу в 4 ч и работает (вместе с первым) до 24 ч; оба агрегата вместе подают за час 4,5% суточного расхода. График работы насосной станции (график подачи) представлен на рис. II.4, *а* пунктирной линией *2*. Для выяснения режима работы отдельных элементов водопровода удобно совместить на одном чертеже график подачи *2* и график потребления *1*. Линия *3* обозначает здесь среднечасовой расход за сутки. Из графика видно, что за сутки насосы подают такое же количество воды, какое расходуется городом: $(2{,}5 \cdot 4) + (4{,}5 \cdot 20) = 100\%$. Однако в отдельные часы суток количество подаваемой воды не равно количеству расходуемой воды (больше или меньше его). При рассмотрении совмещенных графиков подачи и потребления воды легко уяснить роль водонапорной башни. В часы, когда подача воды насосами превышает потребление ее городом (например, от 4 до 6 ч), избыток воды подается в башню.

Если насосы подают количество воды, равное $Q_н$, а город потребляет количество воды, равное Q, то разность $Q_н - Q$ поступает в это время в башню (рис. II.5, *а*). В часы, когда потребление превышает подачу (например, от 7 до 12 ч), недостающее количество воды, равное $Q - Q_н$, подается из башни (рис. II 5, *б*).

Таким образом, водонапорная башня компенсирует несовпадение режимов подачи и потребления воды в отдельные часы суток, аккумулируя избыток подаваемой воды в одни часы и восполняя недостачу воды в другие часы.

В § 15 дается способ вычисления требуемой регулирующей емкости бака водонапорной башни (или напорно-регулирующего резервуара) при помощи совмещения графиков подачи и потребления. Ясно, что чем ближе кривая подачи будет совпадать с кривой потребления, тем меньше будет требуемая регулирующая емкость бака и, следовательно, тем меньше будет стоимость башни. Практически для приближения кривой подачи к кривой потребления можно увеличить число

ступеней графика подачи, но это вызовет увеличение числа агрегатов насосной станции.

В современных водопроводах, имеющих обычно водонапорные башни, число ступеней графика работы насосных станций второго подъема (т. е. число его различных расчетных ординат) обычно колеблется в пределах от одной (для малых водопроводов) до трех (для больших водопроводов).

В некоторых производственных водопроводах потребление воды в течение суток происходит настолько равномерно, что устройство напорно-регулирующих емкостей вообще не требуется.

При использовании центробежных насосов при любом графике водопотребления насос может подавать воду в сеть, не имеющую аккумулирующих емкостей (башен или резервуаров).

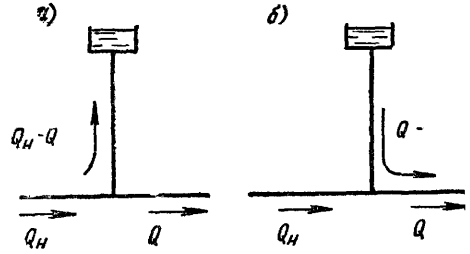


Рис. II.5

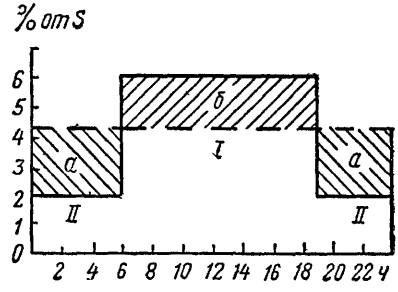


Рис. II.6

Однако использование безбашенных систем оказывается экономичным только при относительно небольших значениях коэффициента часовой неравномерности расхода воды. В противном случае в безбашенных системах возрастает стоимость энергии в связи с необходимостью подавать воду при завышенных по сравнению с требуемым напорах.

После того как будет принят график водопотребления и в соответствии с ним намечен график работы насосной станции второго подъема, определяется режим работы всех элементов водопровода, непосредственно связанных с насосной станцией. Так, для рассматриваемой системы (см. рис. II.1) режим работы сети определяется полностью заданным режимом водоразбора; режим работы водовода совпадает с режимом работы насосной станции второго подъема; режим работы башни и емкость ее бака определяются совместным влиянием режимов подачи воды насосами второго подъема и потребления воды городом.

Насосная станция первого подъема в своей работе связана с водоприемными и очистными сооружениями. Размеры этих сооружений зависят от количества воды, проходящей через них в единицу времени. Это количество будет тем меньше, чем больше часов в сутки они будут работать. Поэтому для уменьшения стоимости водоприемных и очистных сооружений насосная станция первого подъема должна работать возможно большее число часов в сутки. На станциях средних и крупных водопроводов практически всегда имеет место круглосуточная и равномерная работа насосов первого подъема, а следовательно, и водоприемных и очистных сооружений.

Резервуар чистой воды разграничивает две группы элементов системы водоснабжения, режим работы одной из них определяется режимом работы насосной станции первого подъема, а режим работы другой — режимом работы насосной станции второго подъема. Поступле-

ние воды в резервуар с очистных сооружений соответствует режиму работы насосов первого подъема, а забор воды из него производится в соответствии с режимом работы насосов второго подъема. Очевидно, что резервуар чистой воды должен иметь некоторую регулирующую емкость, которая может быть легко определена путем совмещения графиков (рис. II.6) подачи воды насосами первого подъема (линия *I*) и забора воды насосами второго подъема (линия *II*).

б. Связь отдельных элементов системы водоснабжения в отношении создаваемых и требуемых напоров

Для полного понимания работы системы водоснабжения необходимо уяснить связь между ее отдельными элементами не только в отношении расходов, но и в отношении напоров.

Насосные станции должны подавать воду потребителю в требуемом количестве и под требуемым напором.

Разбор воды большинством потребителей происходит на некоторой высоте над поверхностью земли, поэтому в водопроводной сети должно быть обеспечено давление, необходимое для подъема воды на указанную высоту. Например, для подачи воды в верхние этажи здания (рис. II.7) в городской водопроводной сети необходимо иметь внутреннее давление p (измеряемое для простоты у поверхности земли), достаточное для подъема воды до наивысшей водоразборной точки и ее излива, а также для преодоления всех сопротивлений на ее пути от городской сети до точки излива. Иными словами, пьезометрическая высота в точке ответвления от городской сети (измеряемая от поверхности земли) должна равняться сумме геометрической высоты подъема воды (над этой точкой) и суммарной потери напора на пути движения воды.

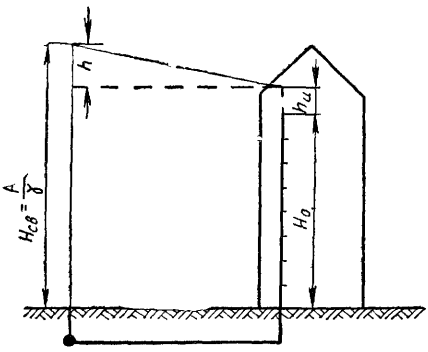


Рис II.7

Эта пьезометрическая высота, необходимая для нормальной работы водопровода, обычно называется «свободным хозяйственным напором», который равен:

$$H_{св} = \frac{p}{\gamma},$$

где $H_{св}$ — свободный хозяйственный напор в м;
p — внутреннее давление в трубе в кгс/м^2;
γ — удельный вес воды в кгс/м^3.

Следовательно,

$$H_{св} = H_0 + h_и + h,$$

где H_0 — геометрическая высота расположения наивысшей водоразборной точки над поверхностью земли;
$h_и$ — напор, который необходимо обеспечить у водоразборных приборов;
h — потери напора в трубах, фасонных частях и арматуре на пути от точки присоединения к линии городской сети до водоразборной точки внутри здания.

При помощи гидравлического расчета могут быть получены величины h и $h_и$ и, следовательно, может быть найдена величина свободного напора $H_{св}$, требуемого в данной точке сети наружного водопровода.

При расчете городского водопровода расчетную величину $H_{св}$ принимают различной для отдельных районов в зависимости от расчетной этажности их застройки.

Строительные нормы и правила дают следующие величины требуемого свободного напора $H_{св}$ в сети водопровода населенных мест: при одноэтажной застройке $H_{св}=10$ м; при двухэтажной застройке $H_{св}=12$ м и при большей этажности плюс 4 м на каждый следующий этаж.

Во всех точках водопроводной сети при работе водопровода в обычное время (при отсутствии пожара) должен быть обеспечен напор не меньше указанных значений $H_{св}$.

На рис. II.8 изображен вертикальный продольный разрез рассмотренной выше системы водоснабжения (см. рис. II.1), на котором схематически показано положение пьезометрических линий для момента максимального водоразбора. Рисунок позволяет установить связь между элементами системы водоснабжения в отношении напоров. Наиболее

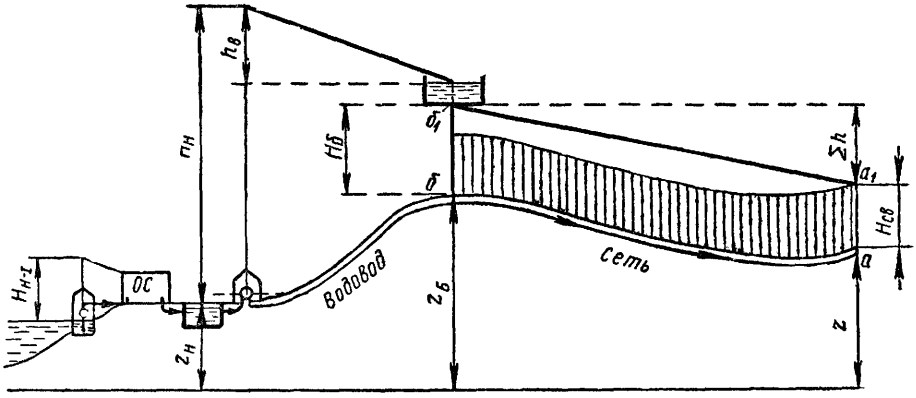


Рис. II.8

неблагоприятно расположенными в отношении напора оказываются точки, дальше всего отстоящие от башни и имеющие наибольшие геодезические отметки. В этих точках будут самые низкие пьезометрические отметки (вследствие падения напора в сети от источника питания до этих конечных точек) и самые малые величины располагаемого свободного напора.

Для определения величины расчетного напора, который необходимо создать в начале сети, следует выбрать «критическую» точку сети, наиболее неблагоприятную как в отношении ее геодезической отметки, так и в отношении удаленности от источника питания. Пусть на рис. II.8 такой критической точкой будет точка a (с отметкой z), наиболее возвышенная из конечных точек сети. Отложив в этой точке величину требуемого (в зависимости от этажности) свободного напора $H_{св}$, получим расчетную пьезометрическую отметку для критической точки сети $z+H_{св}$. Требуемая величина $H_{св}$ должна быть обеспечена в точке a в любой момент работы сети, включая, как указано, момент максимального водоразбора, при котором потери напора Σh на всех участках от башни до критической точки сети будут иметь максимальную величину. Пьезометрическая линия, характеризующая падение напора в сети

в часы максимального водоразбора, показана схематически на рис. II.8 в виде линии $б_1 а_1$.

В точке *б* должен быть создан такой напор $H_б$, чтобы при максимальном уклоне пьезометрической линии напор в точке *а* не падал ниже заданной величины $H_{св}$. Напор $H_б$ обеспечивается расположением дна бака водонапорной башни на соответствующей высоте.

По схеме рис. II.8 легко установить связь между напорами в отдельных характерных точках системы.

Очевидно, что

$$z_б + H_б = z + H_{св} + \Sigma h.$$

Отсюда может быть определена расчетная высота башни, т. е. высота расположения дна бака башни над поверхностью земли:

$$H_б = H_{св} + \Sigma h - (z_б - z).$$

Расположив башню на возможно более высокой отметке $z_б$, получим при имеющихся отметках снабжаемой водой территории наибольшую величину $z_б - z$, а следовательно, минимальную величину $H_б$, т. е.

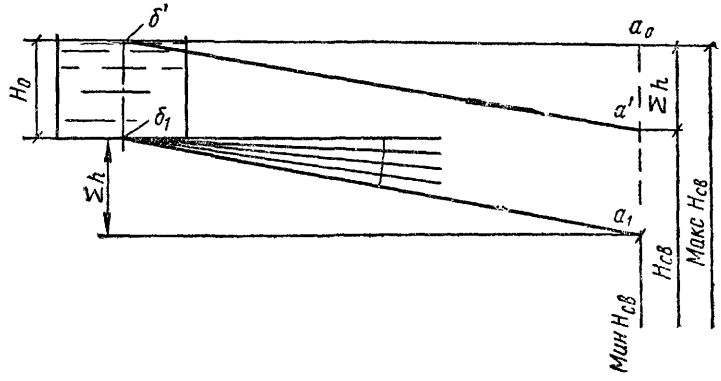


Рис II.9

наименьшую высоту (и наименьшую стоимость) башни. Поэтому водонапорную башню следует стремиться располагать на высоких отметках. В частности, если в результате расчета будет получена величина $H_б \leqslant 0$, то вместо башни устраивают напорный резервуар, расположенный на поверхности земли (или частично заглубленный в землю). Такие резервуары всегда будут значительно дешевле, чем башня с той же емкостью бака.

На рис. II.9 схематически показано изменение расположения пьезометрической линии при изменении уровня воды в баке башни и изменении величины водоразбора. При минимальном наполнении бака и максимальной потере напора в сети, соответствующей моменту наибольшего водоразбора, пьезометрическая линия займет положение $б_1 а_1$.

Если к моменту максимального водоразбора бак полон, пьезометрическая линия будет занимать положение $б' a'$.

При изменении величины водоразбора и, следовательно, величины Σh пьезометрическая линия будет поворачиваться вокруг точки $б_1$ или $б'$ (или вокруг промежуточных точек в зависимости от уровня воды в баке) и занимать различное положение вплоть до горизонтального, которое наступит при прекращении водоразбора Все новые положения пьезометрической линии, показанные на рис. II.9, дают большие вели-

чины свободного напора в конечной точке, чем расчетное положение, принятое на рис. II.8.

Необходимо иметь в виду, что максимальные величины свободных напоров в сети не должны превосходить определенных пределов. Они устанавливаются в зависимости от материала и типа труб и условий эксплуатации сети. В соответствии с указаниями СНиП свободный напор в сетях хозяйственно-питьевых водопроводов не должен превосходить 60 м.

На рис. II.8 схематически показана также пьезометрическая линия для водовода, подающего воду от насосной станции второго подъема до башни. При этом расчетным положением пьезометрической линии, диктующим величину напора насосов, будет такое, при котором конечная точка пьезометрической линии располагается на высоте максимального уровня воды в баке башни, а величина потерь напора в водоводе $h_в$ соответствует максимальному количеству воды, подаваемой насосами по графику работы насосной станции.

Напор, создаваемый насосами (показываемый манометром на напорном патрубке насоса), будет[1]:

$$H_н = (z_б - z_н) + (H_б + H_0) + h_в,$$

где $z_н$ — отметка оси насоса;

H_0 — расчетная высота бака башни.

Следует отметить, что насосы, выбранные для подачи расхода $Q_ч$ на высоту $H_н$ (т. е. при наивысшем уровне воды в баке башни), при более низких уровнях будут работать под меньшими напорами и подавать большие количества воды. Следовательно, действительный график подачи воды будет несколько отличаться от запланированного (при условии постоянного расчетного напора).

Можно также установить зависимость между напором $H_{н-I}$, создаваемым насосами станции первого подъема, и свободным напором, который необходимо обеспечить у очистных сооружений (см. рис. II.8) с учетом отметок местности и потерь напора в трубах.

Установленная таким образом связь между отдельными элементами системы водоснабжения, представленной на рис. II.1, полностью характеризует режим ее работы при изменении водоразбора в случае нормального водопотребления. При пожарах условия работы водопровода значительно меняются (см. § 13).

§ 12. ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ПРИ НАЛИЧИИ КОНТРРЕЗЕРВУАРА ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ ВОДОПИТАТЕЛЕЙ И НАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩИХ ЕМКОСТЕЙ

Рассмотренный выше случай системы с расположением напорно-регулирующей емкости в начальной точке сети является наиболее простым в отношении определения режима работы системы.

Весьма часто наиболее возвышенные точки территории снабжаемого водой объекта являются самыми удаленными от насосной станции. Располагая водонапорную башню на наивысших отметках, мы получаем так называемую систему водоснабжения с «контррезервуаром», при которой башня и насосная станция второго подъема находятся в противоположных концах сети (рис. II.10).

[1] Полная высота подъема воды насосом будет больше на величину высоты всасывания, включая потери во всасывающей линии.

Режим работы системы при таком расположении башни будет существенно отличаться от режима работы системы с башней в начале сети.

Как мы видели, в часы большого, в частности максимального, водоразбора суммарный расход воды городом Q превышает подачу насосов, и недостающее количество воды $Q-Q_н=Q_б$ поступает из башни. При расположении башни в начале сети оба эти количества складываются, и в начальную точку сети поступает количество воды

$$Q_{макс} = Q_н + Q_б$$

В системах с контррезервуаром в часы максимального водоразбора вода в сеть будет подаваться с двух противоположных сторон: от насосов — $Q_н$ и от башни — $Q_б$.

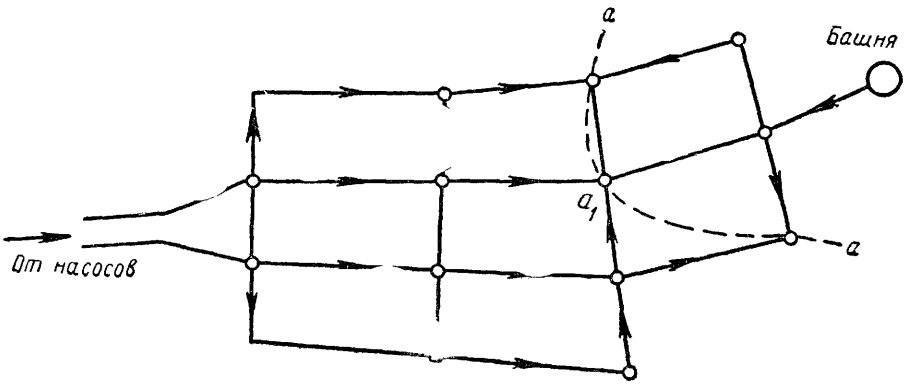


Рис. II 10

Количества воды $Q_н$ и $Q_б$ определяются (приближенно) по совмещенному графику водопотребления и работы насосов (например, по графику на рис. II.4, *а*). Зная $Q_н$ и $Q_б$, а также характер отбора воды из сети, можно наметить районы питания сети от насосов и башни. У границы этих районов (см. рис. II.10) будет происходить встреча потоков воды, идущих от башни и насосов.

При таком движении воды в сети изменится и положение пьезометрических линий. Наименьшие пьезометрические отметки будут в точках, лежащих на границе обоих районов питания (линия *аа* на рис. II.10). Критической из них является точка, имеющая наибольшую геодезическую отметку. Пусть это будет точка a_1. В этой точке величина свободного напора будет наименьшей. Задавшись для нее величиной требуемого свободного напора $H_{св}$ (в зависимости от этажности застройки), построим (рис. II.11) вправо и влево от точки a_1 пьезометрические линии с уклоном, соответствующим величинам потерь напора при максимальном водоразборе: $\Sigma h_б$ — от башни до точки a_1, и $\Sigma h_н$ — от начальной точки сети (со стороны насосной станции) до точки a_1. Величина потерь напора в водоводе $h_в$ будет, очевидно, та же, что и в случае такой же системы с башней в начале сети.

Определив из расчета сети величины потерь напора и зная геодезические отметки, можно найти требуемую высоту башни $H_б$ и напор насосов $H_н$:

$$H_б = H_{св} + \Sigma h_б - (z_б - z);$$

$$H_н = H_б + (\Sigma h_н + h_в - \Sigma h_б) + (z_б - z_н).$$

При полном баке башни напор насосов будет больше $H_н$ на высоту H_0 (высота бака).

Системы с контррезервуаром характеризуются некоторыми специфическими для них моментами работы, которые должны быть рассмотрены при расчете сети. Как было сказано, в некоторые часы суток количество воды, подаваемой насосами, превышает количество воды, расходуемой городом. При расположении башни в начале сети избыточное количество воды, подаваемой насосами, идет в бак башни, не поступая в сеть. В системах с контррезервуаром этот избыток, для того чтобы попасть в башню, должен пройти транзитом через всю сеть.

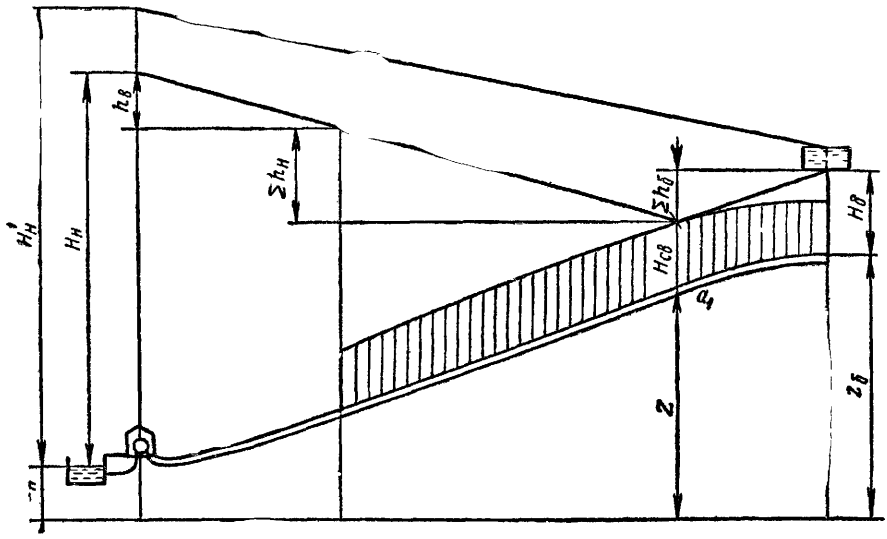


Рис. II.11

Момент, в который этот транзитный расход достигает своего максимального значения (момент «максимального транзита»), определяется по совмещенным графикам (см. рис. II.4, *а*) и является вторым основным расчетным случаем сети с контррезервуаром. При этом пьезометрическая линия приобретает однозначный уклон на всем своем протяжении; исчезает ее излом, существующий у границы зон питания при максимальном водоразборе, и минимальная пьезометрическая отметка получается у башни — в конечной, наиболее высоко расположенной точке сети (верхняя пьезометрическая линия на рис. II.11).

Во время работы сети при максимальном транзите расходы на участках магистральных линий, близких к границе зон питания, будут больше, чем при максимальном водоразборе. Расчетная величина требуемого напора насосов в часы максимального транзита $H'_н$ обычно также получается больше, чем в часы максимального водоразбора. Таким образом, для определения расчетного напора у насосов случай максимального транзита часто является критическим.

В реальных условиях в зависимости от конфигурации снабжаемой водой территории и от рельефа местности возможно промежуточное резмещение башни.

На рис. II.12 показана схема расположения пьезометрических линий при различных расчетных моментах работы системы с промежуточным размещением башни (линия *1*— при максимальном водоразборе, линия *2*— при максимальном транзите).

Если башня размещена относительно близко к началу сети, то количество воды, подаваемой насосами, может оказаться достаточным для питания всего района между насосами и башней в часы максимального водоразбора, и тогда пьезометрическая линия, соответствующая этому моменту, не будет иметь излома, показанного на рис. II.12 (линия *1*).

В системах с контррезервуаром изменение отбора воды из сети будет вызывать значительные изменения давлений в сети, и, следовательно, насосы будут работать при большом диапазоне изменения напоров. В зависимости от этого фактическая подача воды насосами также будет изменяться в широких пределах.

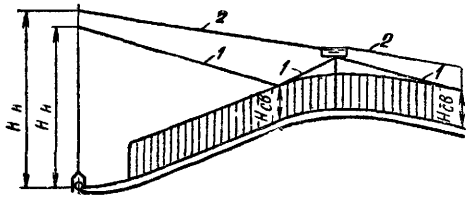


Рис. II.12

В результате намеченный первоначально график подачи воды насосами может потребовать значительной корректировки.

Система с контррезервуаром имеет тот существенный недостаток, что в периоды транзита величины напоров в сети и у насосов могут значительно возрастать. Это может привести к необходимости пуска специальных насосов для работы в период транзита воды в контррезервуар.

В практике водоснабжения встречаются различные значительно более сложные системы, чем рассмотренные здесь. Прежде всего во многих крупных городах (обычно в результате их постепенного роста) вода подается в городскую сеть несколькими насосными станциями, а иногда и от нескольких природных источников. В ряде случае в крупных городских системах водоснабжения имеется также несколько напорно-регулирующих емкостей.

Для каждого расчетного момента работы подобных систем (так же, как и при рассмотренной простейшей схеме с контррезервуаром) соблюдается баланс подач и отборов. В одни часы суммарная подача воды от насосов и от напорно-регулирующих емкостей соответствует отбору воды из сети; в другие часы избыток подачи воды насосными станциями над потреблением поступает в башни или напорные резервуары.

Характер работы отдельных водопитателей и емкостей и зоны питания ими сети намечаются предварительно и проверяются расчетом. Пути такого расчета излагаются в § 25.

В системах водоснабжения весьма крупных городов, где неравномерность водопотребления обычно относительно мала, напорно-регулирующие емкости иногда теряют свое регулирующее значение, но сохраняют значение запасных (аварийных) емкостей.

§ 13. ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

По существующим правилам проектирования водопровод рассчитывают в предположении, что пожар происходит в часы максимального водоразбора, т. е. в момент наиболее напряженной работы системы.

Приведенные в разделе I нормы дают в зависимости от размеров и назначения обслуживаемого водопроводом объекта расчетное число одновременных пожаров, количество воды, расходуемой на каждый пожар (в л/с), и расчетную длительность пожара. Эти данные позволяют определить полный расчетный секундный расход на пожар, который должен быть прибавлен к максимальному секундному хозяйственному (или производственному) расходу, а также общее количество воды, которое должно быть израсходовано на тушение огня в течение всего времени пожара.

При расчете системы водопровода на работу во время пожара следует исходить из возможности пожара в наиболее возвышенных и наиболее удаленных от источников питания точках территории, обслуживаемой водопроводом.

По способу тушения пожара водопроводы разделяются на водопроводы высокого давления и водопроводы низкого давления.

При системе пожаротушения высокого давления водопровод должен в надлежащий момент обеспечить не только подачу к месту пожара установленного нормами пожарного расхода воды, но и повышение давления в водопроводной сети до величины, достаточной для создания пожарных струй непосредственно от гидранта.

Обычно в водопроводах высокого давления повышение давления обеспечивается лишь на время тушения пожара.

При системе пожаротушения низкого давления водопровод должен обеспечить лишь подачу увеличенного в связи с пожаром расхода воды. Напор для получения пожарных струй создается передвижными пожарными насосами, подвозимыми пожарной командой к месту пожара и забирающими воду из водопроводной сети через гидранты. В этом случае происходит понижение давления в трубах, обслуживающих прилегающий к месту пожара район.

Согласно СНиП II-Г.3-62 напор в любой точке сети при этом должен быть не менее 10 м и в особенно неблагоприятных точках не менее 7 м.

Эти указания имеют целью предотвратить возможность образования в сети при отсосе воды пожарными насосами давления ниже атмосферного, так как это может вызвать проникновение в сеть через неплотности стыков загрязненной почвенной воды.

Кроме того, некоторый запас величин давления в сети необходим для работы пожарных автонасосов, в частности для преодоления довольно значительных сопротивлений во всасывающих линиях этих насосов.

Системы пожаротушения высокого давления (с временным повышением давления при пожаре) применяют иногда в водопроводах промышленных предприятий. Водопроводы постоянного высокого давления могут быть допущены только в силу особых условий, так как эксплуатация этих систем вызывает значительный перерасход электроэнергии.

В населенных местах обычно применяют системы пожаротушения низкого давления.

Как увидим далее, диаметры городской водопроводной сети определяются в соответствии с режимом ее нормальной работы. Естественно, что при пропуске через сеть увеличенного расхода во время пожара увеличиваются скорости течения воды в трубах, а следовательно, и потери напора в сети.

Рассмотрим режим работы водопровода (рис. II.13) при системе пожаротушения низкого давления.

Пусть при нормальной работе в наиболее удаленной от башни и возвышенной точке *а* требуется свободный напор $H_{св}$. Пьезометрическая линия займет некоторое положение *1* (сопрягаясь с уровнем воды в баке башни). Допустим, что в точке *а* возникает пожар. При системе пожаротушения низкого давления и отборе воды из сети пожарными насосами в точке *а* устанавливается некоторый свободный напор $H_п = 10$ м, который будет, как правило, меньше $H_{св}$. Так как в период пожара по сети проводится увеличенный расход воды, потери напора в сети возрастут; получим $\Sigma h_{пож} > \Sigma h_{хоз}$, и пьезометрическая линия *2* (соответствующая этому случаю) будет иметь больший уклон, чем линия *1*.

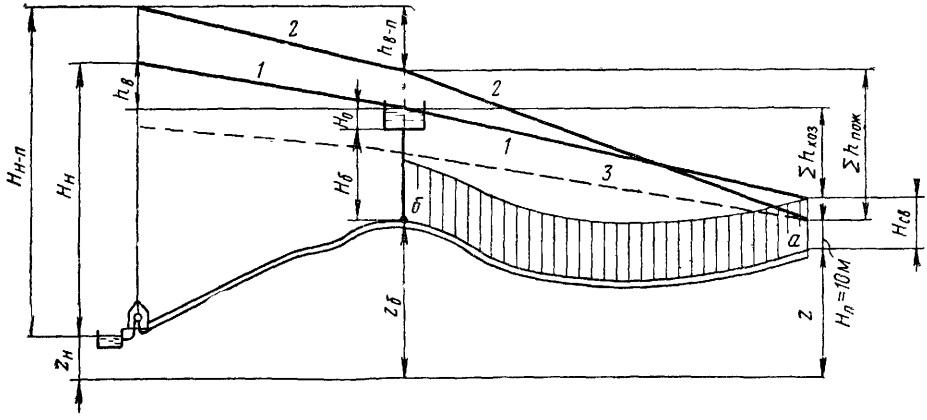


Рис. II.13

В зависимости от соотношения напоров $H_{св}$ и $H_п$ и потерь $\Sigma h_{хоз}$ и $\Sigma h_{пож}$ пьезометрическая линия при пожаре может пройти выше бака башни (положение *2*) или ниже его.

В первом случае башня на время пожара должна быть выключена, так как иначе она не позволит насосам повысить давление в сети до требуемой величины (так как в точке присоединения башни к сети максимально возможное давление будет определяться уровнем воды в баке).

Если расчетная пьезометрическая линия (при пожаре) пройдет ниже уровня воды в баке башни (положение *3*), то, очевидно, башня не выключается, и в месте пожара будет обеспечен напор не ниже требуемого $H_п$.

Разумеется, действительное положение пьезометрической линии будет несколько отличным от положения *3*, так как пьезометрическая отметка в системе в точке *б* определится фактическим уровнем воды в башне.

Напор $H_{н-п}$, который должны развивать пожарные насосы, будет зависеть от соотношения $H_п$ и $H_{св}$ и от соотношения величин потерь напора в сети и в водоводах при хозяйственной и при пожарной работе. Он может быть больше, равен (близок), а иногда и меньше величины того напора, который должны развивать насосы при хозяйственной работе.

Во время пожара насосная станция должна подавать в систему расход воды, достаточный для удовлетворения хозяйственных и противопожарных нужд. Пожарный запас воды хранится обычно в резервуаре чистой воды.

В системах с контррезервуаром наиболее неблагоприятные точки предполагаемых пожаров (т. е. наиболее удаленные и возвышенные точки) обычно оказываются расположенными вблизи башни (рис. II.14). Так как $H_п < H_{св} < H_б$, то первое время после возникновения пожара (в точке a) башня будет подавать к ней значительные количества воды, что может привести к ее быстрому опорожнению.

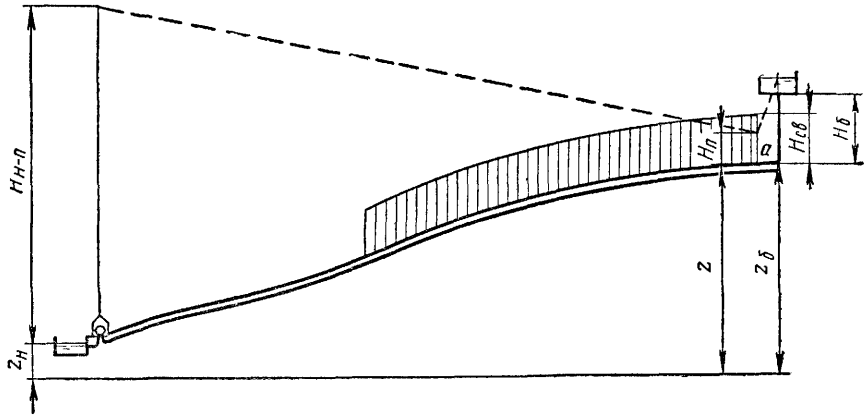


Рис. II.14

Поэтому системы с контррезервуаром следует рассчитывать на подачу в период пожара суммарного хозяйственного и пожарного расхода от насосной станции. Схематическое расположение пьезометрических линий для подобного случая показано на рис. II.14.

§ 14. СООБРАЖЕНИЯ О ВЫБОРЕ РАСЧЕТНЫХ СЛУЧАЕВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Под расчетными случаями работы системы водоснабжения понимаются такие возможные сочетания отбора воды потребителями и подачи ее насосными станциями, при которых имеют место наибольшие нагрузки для отдельных сооружений системы. К нагрузкам относятся расходы воды и напоры (давления).

Можно считать, что в пределах срока каждой рассматриваемой очереди (этапа) развития системы отдельные ее элементы не претерпевают существенных изменений и лишь постепенно увеличиваются их нагрузки. В этом случае «расчетным годом» для системы будет, очевидно, последний год рассматриваемой очереди ее развития.

Для этого года принимаются средние нормы водопотребления q, расчетное число жителей N и определяются (в соответствии с указаниями § 3) величины среднего (за год) S, наибольшего $S_{макс}$ и наименьшего $S_{мин}$ суточного расхода воды объектом.

Очевидно, что все сооружения системы должны быть рассчитаны на работу в сутки наибольшего водопотребления (при $S_{макс}$) в соответствии с графиками, принятыми (заданными) для работы отдельных сооружений.

При этом водопроводные сети должны быть рассчитаны на работу в час наибольшего водопотребления, т. е. на $Q_{макс} = a_{макс} S_{макс}/24$.

Сети с контррезервуарами, кроме того, должны быть рассчитаны на работу в час наибольшего превышения подачи воды насосами над

ее потреблением, т. е. в час наибольшего транзита воды в напорно-регулирующие емкости.

При одноступенчатом графике подачи воды насосами второго подъема этот расчетный случай равноценен расчету сети на час наименьшего водопотребления (суток наибольшего водопотребления), т. е. на час водопотребления $Q_{мин}=a_{мин}S_{макс}/24$.

Кроме того, сеть, водовод и насосные станции второго подъема должны быть рассчитаны (проверены) на одновременную подачу наибольшего часового и противопожарного расхода в сутки наибольшего водопотребления, и на подачу воды при аварии в час наибольшего водопотребления.

Целесообразно также проведение расчетов системы подачи и распределения воды на минимальный часовой расход в дни наименьшего водопотребления $Q_{мин}=a_{мин}S_{мин}/24$, при котором могут иметь место наибольшие величины давлений в сети, а также расчетов на средний часовой расход в сутки среднего водопотребления, который дает возможность ориентировочно определить осредненные за расчетный срок (для данного этапа развития системы) величины затрат энергии на подъем воды.

§ 15. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО ОБЪЕМА РЕГУЛИРУЮЩИХ И ЗАПАСНЫХ ЕМКОСТЕЙ

При помощи совмещенных графиков водопотребления и водоподачи (т. е. графика работы насосов, подающих воду в сеть) может быть легко определена расчетная регулирующая емкость бака водонапорной башни или напорного резервуара.

Таблица II 3

Часы суток	Расход воды городом	Подача воды насосами	Поступление в бак	Расход воды из бака	Остаток в баке
1	2	3	4	5	6
0—1	3	2,5	—	0,5	1,9
1—2	3,2	2,5	—	0,7	1,2
2—3	2,5	2,5	—	—	1,2
3—4	2,6	2,5	—	0,1	1,1
4—5	3,5	4,5	1	—	2,1
5—6	4,1	4,5	0,4	—	2,5
6—7	4,5	4,5	—	—	2,5
7—8	4,9	4,5	—	0,4	2,1
8—9	4,9	4,5	—	0,4	1,7
9—10	5,6	4,5	—	1,1	0,6
10—11	4,9	4,5	—	0,4	0,2
11—12	4,7	4,5	—	0,2	0
12—13	4,4	4,5	0,1	—	0,1
13—14	4,1	4,5	0,4	—	0,5
14—15	4,1	4,5	0,4	—	0,9
15—16	4,4	4,5	0,1	—	1
16—17	4,3	4,5	0,2	—	1,2
17—18	4,1	4,5	0,4	—	1,6
18—19	4,5	4,5	—	—	1,6
19—20	4,5	4,5	—	—	1,6
20—21	4,5	4,5	—	—	1,6
21—22	4,8	4,5	—	0,3	1,3
22—23	4,6	4,5	—	0,1	1,2
23—24	3,3	4,5	1,2	—	2,4

Покажем это на примере графика, приведенного на рис. II.4, *а*, при ступенчатой работе насосов. Результаты вычислений сведены в табл. II.3, где значения часовых расходов даны в процентах от суточного расхода. В графах 2 и 3 приведены данные, взятые непосредственно с графика (см. рис. II.4, *а*). В графах 4 и 5 даны разности значений, приведенных в графах 2 и 3. Эти разности представлены на графике отрезками ординат между кривыми подачи и потребления.

Для заполнения графы 6 следует наметить час, когда бак будет пуст. Этого можно ожидать после периода подачи воды баком в течение более или менее значительного промежутка времени. В нашем случае при ступенчатой работе насосов таким периодом может быть промежуток от 7 до 12 ч. Предположим, что к 12 ч бак башни будет пуст, т. е. в графе 6 против промежутка 11—12 ч будет стоять 0. Далее, прибавляя или вычитая соответственно значения, приведенные в графе 4 или 5, будем для каждого часа получать количество воды, остающейся в баке к концу каждого часового промежутка. Наибольшая из цифр графы 6, получившаяся в результате подсчета, даст требуемую регулирующую емкость бака башни.

Если допущена ошибка при назначении часа, к концу которого бак будет пустым, то некоторые из цифр графы 6 получат отрицательные значения. В этом случае нет необходимости в пересчете, так как емкость бака может быть получена как сумма абсолютных значений наибольшей положительной и наибольшей отрицательной цифр в графе 6. В рассмотренном случае регулирующая емкость бака башни $W_р$ при ступенчатой работе насосов получилась равной 2,5% суточного расхода. Если принять равномерную круглосуточную работу насосов, то ступенчатый график подачи получит вид горизонтальной прямой с постоянной ординатой $Q_н = 100/24 = 4{,}17\%$.

Этот график дает бóльшие отклонения от графика потребления, чем рассмотренный ступенчатый график работы насосов, а следовательно, объем и стоимость башни при равномерной работе насосов должны возрасти. Действительно, в этих условиях $W_р = 6{,}98\%$.

Регулирующая емкость водонапорных башен зависит как от графика водопотребления, так и от принятого графика работы насосной станции. Регулирующая емкость бака башни может быть определена также графическим путем при помощи так называемых интегральных графиков. Ординаты интегральных графиков дают суммарное количество воды, израсходованной с начала суток до каждого данного часа.

Следует иметь в виду, что при определении регулирующей емкости бака башни был принят график работы насосов, предполагающий постоянную величину подачи воды данным насосом (или данной группой параллельно работающих насосов) в течение всего намеченного периода их работы. В действительности непрерывное изменение количества воды, забираемой из сети потребителями, и соответствующее изменение потерь напора и давлений в сети будут вызывать также непрерывное изменение подачи воды насосами. Это изменение обусловливается свойством «саморегулирования» центробежных насосов, у которых, как известно, подача и создаваемый напор связаны определенной характеристикой $Q — H$. Кроме того, изменение уровня воды в баке башни будет вызывать также изменение требуемой высоты подачи воды, а следовательно, и количества воды, подаваемой насосом.

В силу сказанного действительный график подачи воды насосами будет несколько отличен от первоначально принятого при расчете. Путем последовательного приближения могут быть найдены уточнен-

ный график подачи воды насосами и уточненная величина емкости бака башни.

Практика показывает, что регулирующая емкость баков башен в городских водопроводах составляет обычно от 2,5—3 до 5—6% при неравномерной (ступенчатой) работе насосов и 8—15% и более при равномерной круглосуточной работе насосов.

Действующие нормы строительного проектирования требуют, чтобы баки водонапорных башен в поселках сверх их регулирующей емкости вмещали запас воды на тушение одного внутреннего и одного наружного (а для промышленных предприятий одного внутреннего) пожара в течение 10 мин.

Как было сказано, в некоторых случаях рельеф местности позволяет строить вместо водонапорной башни напорный резервуар, располагаемый на возвышенных отметках вблизи территории города. Емкость таких водонапорных разервуаров определяется по тем же принципам, что и емкость баков водонапорных башен. Однако, учитывая меньшую стоимость резервуара, иногда считают целесообразным хранить в них полный пожарный запас воды вместо использования для этих целей резервуара чистой воды (при насосной станции второго подъема).

При прокладке одной линии водопровода (см. СНиП II-Г.3-62, п. 7.3) запасной резервуар должен содержать (сверх регулирующего и пожарного запасов) специальный (аварийный) запас, достаточный для снабжения водой потребителей в течение времени, необходимого на ликвидацию аварий, которые могут произойти на водоводе.

Как уже указывалось, регулирующую емкость сборных резервуаров чистой воды (располагаемых за очистными сооружениями) можно легко определить по совмещенным графикам работы насосов первого и второго подъема (см. рис. II.6). Эта емкость будет, очевидно, выражаться площадью *б* или равной ей суммарной площадью *а*. Для случая равномерной круглосуточной работы насосов первого подъема и работы насосов второго подъема по графику на рис. II.4, *а* регулирующая емкость резервуара чистой воды в процентах от суточного расхода будет равна:

$$W_р = (4{,}17 - 2{,}5)4\% = 6{,}7\%.$$

Эта задача может быть решена также при помощи интегральных графиков.

Как было сказано, в резервуарах чистой воды обычно хранится также запас воды на тушение пожара, длительность которого принимается равной 3 ч (в отдельных случаях 2 ч). За это время пожарные насосы будут отбирать из резервуара полный пожарный расход (согласно нормам) $Q_п$, м³/ч и максимальный хозяйственно-питьевой расход $Q_{макс}$. За это время в резервуар будет поступать количество воды Q_1, соответствующее графику работы насосов первого подъема.

Согласно СНиП, расход Q_1 может приниматься в расчет в том случае, если гарантирована бесперебойная подача воды насосной станцией первого подъема.

Тогда «пожарная емкость» резервуара (при трехчасовом запасе) будет:

$$W_п = 3Q_п + \Sigma Q_{макс} - 3Q_1,$$

где $\Sigma Q_{макс}$ — суммарный расход за 3 ч наибольшего водопотребления (по графику).

Кроме того, резервуар чистой воды обычно содержит запас воды на промывку фильтров и другие собственные нужды очистной станции $W_ф$. Тогда суммарная емкость резервуаров чистой воды будет:

$$W = W_р + W_п + W_ф.$$

Раздел III

СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ (ВОДОПРОВОДНЫЕ СЕТИ И ВОДОПРОВОДЫ)

Под системой подачи и распределения воды понимается комплекс водопроводных сооружений, включающий насосные станции, сети, водоводы и напорные регулирующие емкости, т. е. сооружений, осуществляющих подъем воды, ее транспортирование к снабжаемому объекту, распределение по территории объекта и раздачу потребителям, а также аккумулирование воды.

Все перечисленные сооружения неразрывно связаны в своей работе, и их расчет может быть произведен только с учетом этой взаимосвязи.

В настоящем разделе рассматриваются основные вопросы проектирования и расчета транспортирующих воду сооружений (сетей и водоводов) с учетом их взаимосвязи с насосными станциями и регулирующими емкостями.

Глава 5

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ И ВОДОВОДОВ

§ 16. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ВОДОПРОВОДНЫМ СЕТЯМ. ТИПЫ СЕТЕЙ

Водопроводная сеть является одним из основных элементов системы водоснабжения и неразрывно связана в работе с водоводами, насосными станциями, подающими воду в сеть, а также с регулирующими емкостями (резервуарами и башнями).

Водопроводная сеть должна удовлетворять следующим основным требованиям:

а) обеспечивать подачу заданных количеств воды к местам ее потребления под требуемым напором;

б) обладать достаточной степенью надежности и бесперебойности снабжения водой потребителей.

Кроме того, выполняя поставленные требования, сеть должна быть запроектирована наиболее экономично, т. е. обеспечивать наименьшую величину приведенных затрат на строительство и эксплуатацию как самой сети, так и неразрывно связанных с ней в работе других сооружений системы.

Выполнение этих требований достигается правильным выбором конфигурации сети и материала труб, а также правильным определением диаметров труб с технической и экономической точки зрения.

Первой задачей, которую решают при проектировании сети, является ее трассировка, т. е. придание ей определенной геометрической формы в плане.

Расположение линий водопроводной сети зависит:

1) от характера планировки снабжаемого водой объекта, разме-

щения отдельных потребителей воды, расположения проездов, формы и размеров жилых кварталов, цехов, зеленых насаждений и т. д.;

2) от наличия естественных и искусственных препятствий для прокладки труб (рек, каналов, оврагов, железнодорожных путей и т. п.);

3) от рельефа местности.

В практике водоснабжения используют два основных вида сетей: разветвленные, или тупиковые (рис. III.1), и кольцевые (рис. III.2). Последние представляют собой систему смежных замкнутых контуров или колец.

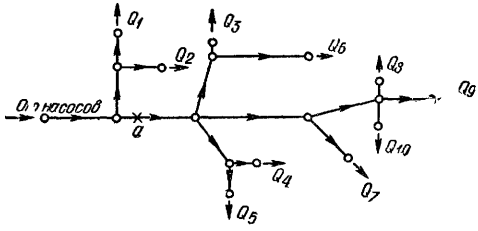


Рис. III.1

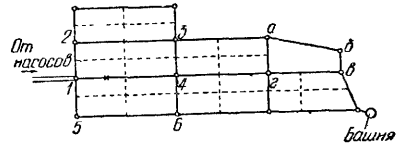


Рис. III.2

Подача воды в заданных количествах в любую точку территории объекта водоснабжения может быть осуществлена как по разветвленной, так и по кольцевой сети. Однако в отношении надежности и обеспечения бесперебойной подачи воды потребителям эти типы сетей далеко не равноценны. Авария и выключение на ремонт любого участка разветвленной сети ведут к прекращению подачи воды всем потребителям, расположенным ниже места аварии по направлению движения воды. В кольцевой сети при аварии (и выключении) любого ее участка вода может быть подана в обход по параллельно расположенным линиям. При этом нарушается снабжение водой только тех потребителей, которые присоединены к выключенному участку.

Кольцевая форма сети в известной мере парализует действие гидравлических ударов, которые иногда возникают в водопроводных сетях.

В то же время общая протяженность кольцевой сети всегда больше, чем разветвленной (для того же объекта), и поэтому строительная стоимость кольцевой сети выше.

Для большинства объектов водоснабжения — как городов, так и промышленных предприятий — в соответствии с их требованиями к надежности систем подачи воды устраивают кольцевые сети.

Разветвленные сети могут быть допущены в отдельных случаях в небольших поселковых водопроводах и водопроводах сельских местностей (использующих пожарные водоемы на территории поселка) и для снабжения водой тех производственных потребителей, которые допускают перерывы в снабжении водой.

Кроме того, разветвленные сети часто используют в крупных районных водопроводах, снабжающих ряд объектов, отстоящих друг от друга на значительные расстояния. В таких системах надежность водоснабжения обеспечивается наличием местных резервуаров достаточной емкости.

Более экономично требуемая надежность таких систем может быть обеспечена не устройством кольцевой сети, а созданием достаточных резервных емкостей у отдельных потребителей.

В городских водопроводах для подачи воды к домовым ответвлениям водопроводные линии приходится прокладывать почти по каж-

дому проезду и по каждой улице, поэтому сеть в целом принимает форму смежных замкнутых контуров (колец), определяемую в основном планировкой города. При этом в отношении транспортирования воды не все линии сети равноценны. В любой кольцевой сети можно наметить основные направления движения воды, определяемые формой территории объекта, а также местами расположения точек питания (точек присоединения к сети водоводов и водонапорных башен) и крупнейших потребителей воды.

Из общей массы линий, составляющих водопроводную сеть, обычно выделяется система так называемых магистральных линий, основной задачей которых является транспортирование воды транзитом в более удаленные районы снабжаемой территории. Магистрали выбираются из числа линий, идущих в направлении движения основных масс воды (сплошные линии на рис. III.2).

При трассировке магистралей стремятся к тому, чтобы подача воды в отдельные районы города и к отдельным крупным потребителям происходила кратчайшим путем.

Система основных транзитных магистралей соединяется рядом поперечных соединительных линий (перемычек) также магистрального значения, служащих для выравнивания загрузки основных продольных магистралей и обеспечения надежности работы системы. В случае аварии на одной из магистральных линий кольцевой сети вода по соединительным ветвям поступает в другую параллельную магистраль.

Остальные линии, присоединенные к магистральной сети и получающие воду из нее (пунктирные линии на рис. III.2), составляют так называемую распределительную сеть. Основная задача этой сети — непосредственная подача воды к отдельным домовым ответвлениям, а также подвод воды к пожарным гидрантам во время пожара.

Рассчитывают обычно лишь сеть магистральных линий. Что касается линий распределительной сети, то их диаметры принимают в зависимости от размеров пожарного расхода. Магистральные линии наряду с транспортированием воды в удаленные районы снабжают ею также и непосредственно примыкающие к ним кварталы.

Что касается наружных сетей производственных водопроводов, то обычно нет оснований делить их на магистральные и распределительные, и вся запроектированная сеть полностью подвергается расчету.

Известное влияние на выбор трассы магистралей оказывает рельеф местности. Магистральные линии по возможности следует прокладывать по наиболее возвышенным точкам территории. При этих условиях наличие достаточных свободных напоров в магистральной сети обеспечивает создание достаточных напоров и в распределительной (нерассчитываемой) сети, питающейся от магистральной и располагаемой на более низких отметках. Такая прокладка магистралей обеспечивает также относительно меньшее давление в трубах больших диаметров.

Места расположения регулирующих емкостей (определяемые в зависимости от рельефа местности) также оказывают влияние на выбор трассы магистральной сети.

§ 17. ОТБОР ВОДЫ ИЗ СЕТИ

Для расчета водопроводной сети, т. е. определения диаметров ее отдельных участков (линий), необходимо не только знать форму (конфигурацию) сети и протяженность всех ее линий, но также знать или наметить места (точки) и величины подач и отборов воды.

Имея общую схему расположения основных сооружений системы водоснабжения и приняв определенный суточный график водопотребления, можно относительно легко наметить точки сети, в которые подается вода от водопитателей, и количества подаваемой воды для отдельных расчетных моментов работы системы.

Значительно сложнее обстоит дело с отборами воды из сети (для нужд потребителей).

Только в тех случаях, когда сеть снабжает водой относительно небольшое число потребителей, забирающих определенное количество

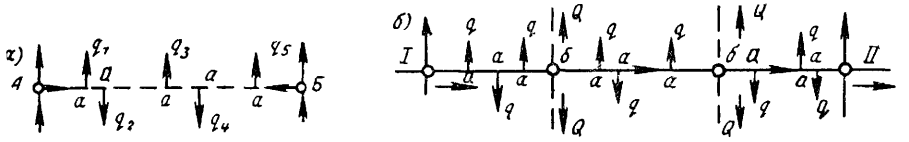


Рис. III.3

воды в единицу времени, можно получить ясную и точную схему отбора воды. Подобная картина часто встречается в системах водоснабжения промышленных предприятий, где отбор воды из сети производится относительно небольшим числом цехов.

Из городской водопроводной сети вода подается потребителям через весьма многочисленные домовые ответвления, присоединяемые к трубам уличной сети на различных расстояниях друг от друга.

Рассмотрим один из участков[1] распределительной сети (между узловыми точками A и $Б$ на рис. III.3, $а$). К этому участку в отдельных точках $а$ присоединены домовые ответвления, по которым подаются различные расходы воды q_i. Подобная картина водоразбора будет на всех участках распределительной сети.

Участок магистральной сети I—II (рис. III.3, $б$) снабжает (кроме домовых ответвлений) присоединенные к нему линии распределительной сети. Ввиду наличия двух категорий сосредоточенных расходов — расходов домовых присоединений q в точках $а$ и значительно больших расходов Q в точках присоединения распределительных линий $б$ — схема водоразбора на отдельных участках магистральной сети будет еще сложнее.

Кроме того, проектировщик может знать (наметить) для отдельных расчетных моментов работы системы лишь общие количества воды, отбираемой из сети на бытовые нужды населения.

Между тем в каждой действительной точке отбора воды в домовые водопроводы будет свой (особый) график водопотребления.

Такова фактическая картина расходования воды в городской сети. Учет действительных сосредоточенных расходов воды (незначительных по величине и часто меняющихся) во всех домовых ответвлениях даже для небольших городов и поселков представляет задачу, практически неосуществимую.

Поэтому в городских (и поселковых) водопроводах мы вынуждены принимать упрощенную расчетную схему водоразбора, допуская условно, что подаваемая в сеть вода расходуется равномерно по длине сети и, следовательно, количество воды, отдаваемой каждым участком, пропорционально его длине.

---

[1] Участком сети будем называть линию между двумя соседними узлами сети.

Расход, приходящийся на единицу длины сети, называют удельным расходом

$$q_{уд} = \frac{Q}{\Sigma l},$$

где Q — общий расход (отдача) воды сетью в л/с*;

Σl — суммарная длина линий, отдающих воду (в м или км).

Так как обычно рассчитывается только магистральная сеть, то в Σl входят длины только магистральных линий. В Σl не следует включать длины магистралей, которые служат для транспортирования, а не для раздачи воды, например линий, идущих по незастроенной и не подлежащей застройке территории, по мостам, по площадям и т. д.

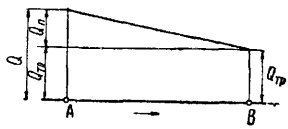


Рис. III.4

Величина удельного расхода изменяется в соответствии с графиком водопотребления и, следовательно, будет различна для отдельных расчетных случаев.

В городах с различной плотностью населения в отдельных районах удельные расходы должны быть вычислены для каждого района.

Таким образом, в городских и поселковых сетях большое число действительных точек отбора воды при расчете сети заменяется «водоразборными участками», и общий расход воды в городе условно разносится по отдельным участкам магистральной сети пропорционально их длине.

Расход воды, отдаваемой каждым участком (или так называемый «путевой» расход участка), определяется формулой

$$Q_п = q_{уд} l.$$

Очевидно, сумма всех путевых расходов и расходов, сосредоточенных в отдельных точках (крупные потребители), должна равняться полному расходу, подаваемому в сеть в расчетный момент.

Диаметр каждого участка определяется по его «расчетному» расходу.

В соответствии с изложенной условной схемой отбора воды из сети городских водопроводов на каждом участке рассчитываемой сети мы будем иметь два вида расходов: расход, который проходит транзитом по всей длине данного участка и поступает в следующий участок («транзитный» расход $Q_{тр}$), и «путевой» расход $Q_п$, равный суммарной раздаче воды в пределах данного участка.

На рис. III.4 показана диаграмма изменения расходов по длине участка.

В начальную точку участка A поступает полный расход Q; путевой расход $Q_п$ раздается равномерно по длине участка, а транзитный $Q_{тр}$ передается далее в конечную точку B.

При такой схеме через различные поперечные сечения рассматриваемого участка будут проходить различные (постепенно уменьшающиеся) количества воды, т. е. различные расчетные расходы.

Если считать, что в пределах каждого отдельного участка должны быть уложены трубы одного диаметра (что обычно имеет место), то, очевидно, надо найти некоторый расчетный расход (постоянный для всего участка), по которому может быть определен диаметр труб.

* При этом из расхода Q вычитаются расходы воды наиболее крупными потребителями (отдельными промышленными предприятиями, забирающими воду из сети, банями, прачечными и др.), а также пожарные расходы. Эти расходы сосредоточиваются в соответствующих точках сети.

Такой расход должен быть эквивалентен принятому по схеме переменному расходу в отношении общих потерь напора на участке.

В частном случае, когда $Q_п = 0$,

$$Q = Q_{тр} = \text{const}$$

и диаметр труб определяется по этому постоянному расходу.

В другом частном случае, когда $Q_{тр} = 0$,

$$Q = Q_п,$$

т. е. расходы воды в сечениях участка на длине l изменяются по линейному закону в пределах от $Q = Q_п$ до нуля.

Для подобного случая в гидравлике дается выражение суммарных потерь напора на участке.

Эти потери при равномерной по длине раздаче расхода $Q_п$ в 3 раза меньше тех потерь напора, которые получатся на том же участке при пропуске по нему расхода $Q_п$ транзитом (т. е. если отдачу расхода $Q_п$ сосредоточить в конечной точке участка).

Эквивалентный расчетный расход в этом случае будет

$$Q_р = \frac{1}{\sqrt{3}} Q_п \approx 0{,}58 Q_п = 0{,}58 q_{уд} l.$$

Такая закономерность может быть только в конечных участках разветвленных сетей.

Для подавляющего большинства участков сети на потери напора будет влиять как равномерно распределенный по длине расход $Q_п$, так и условно сосредоточенный в конечной точке расход $Q_{тр}$.

При наличии этих двух видов расходов эквивалентный им расход может быть вычислен по формуле

$$Q_р = Q_{тр} + \alpha Q_п. \qquad \text{(III 1)}$$

При равномерной раздаче воды по длине участка (предусматриваемой условной схемой водоотдачи) значение коэффициента α зависит от соотношения транзитного и путевого расходов участка и для широкого диапазона этих соотношений лежит в пределах от 0,5 до 0,58.

Тот факт, что в действительности мы имеем не непрерывное, а сосредоточенное в нескольких определенных точках (ответвлениях) расходование воды, также влияет на значение коэффициента α.

Обычно для расчетов принимают упрощенную формулу при $\alpha = 0{,}5$, т. е.

$$Q_р = Q_{тр} + 0{,}5 Q_п. \qquad \text{(III 1а)}$$

Эта формула дает относительно небольшие отклонения от истины (за исключением тупиковых участков при $Q_{тр} = 0$, где, однако, потери напора несущественны по абсолютному значению).

При отсутствии путевого расхода $Q_р = Q_{тр}$; при отсутствии транзитного расхода $Q_р = 0{,}5 Q_п$.

Приведенная формула позволяет очень просто заменить все путевые расходы эквивалентными им узловыми.

Если в каждом узле сети сосредоточить некоторый (фиктивный) расход, равный полусумме путевых расходов участков, примыкающих к этому узлу, то мы получим такую условную схему отбора воды, при которой вся отдача происходит в узлах сети. Такая схема позволяет легко получать в соответствии с формулой (III.1а) значения расчетных расходов участков, уже не считаясь с путевыми расходами. При подобной условной расчетной схеме водоотдачи все расчетные расходы участков становятся равными их транзитным расходам.

Для определения величины транзитных расходов, очевидно, необходимо предварительно принять желательное направление движения потоков воды по сети и величины этих потоков, т. е. решить задачу «начального потокораспределения» (см. § 22).

При расчете водопроводных сетей обычно делается еще одно допущение, позволяющее значительно упростить расчетную схему отбора воды. Потребители отбирают воду через различные водоразборные краны. При определенной степени открытия данного крана расход воды из него будет зависеть от величины давления в водопроводной сети в точке присоединения к ней внутреннего водопровода. Но давление в водопроводной сети меняется непрерывно в зависимости от числа, мест расположения и размеров отборов в сети, происходящих в данный момент времени. В водопроводах населенных мест процесс отбора воды в различных точках городской сети, очевидно, не подчиняется никакой закономерности и не может быть учтен при расчете сети. В силу этого в расчетной схеме отбора воды из сети условно предполагается, что все подобные отборы (приведенные в конечном результате к узловым расходам) не зависят от изменений давления в сети, и все узловые расходы принимаются «фиксированными» для каждого расчетного случая[1].

Одновременно в расчетной схеме сети остаются некоторые «нефиксированные» отборы, т. е. такие отборы, величина которых значительна и может быть выражена в зависимости от давления в сети. К таким «нефиксированным» отборам относятся поступления воды из сети в напорные регулирующие емкости (в периоды их пополнения), отборы воды из сети насосными станциями подкачки и другие специальные виды отборов воды.

При поверочном расчете сети необходимо иметь напорно-расходные характеристики $H=f(Q)$ для всех нефиксированных отборов.

§ 18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ВОДОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ЗАДАННОМ РАСЧЕТНОМ РАСХОДЕ

В качестве водопроводных линий, имеющих на всем своем протяжении определенный заданный расход, могут рассматриваться как водоводы, так и (условно) отдельные участки водопроводных сетей.

Гидравлика дает следующую зависимость между расходом Q, площадью живого сечения напорной цилиндрической трубы ω и средней скоростью движения v:

$$Q = \omega v = \frac{\pi d^2}{4} v,$$

где d — внутренний диаметр трубы.

Отсюда

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}.$$

Очевидно, что для определения диаметра трубы кроме расчетного расхода необходимо знать также (или задать) скорость v.

Практически не представляется возможным установить какие-ли-

[1] Следует отметить, что определенная стабилизация отборов производится самими потребителями. При повышенных давлениях в сети они уменьшают степень открытия водопроводных кранов, а при пониженных давлениях, наоборот, увеличивают степень их открытия, чтобы получить нужную (привычную) интенсивность истечения воды.

бо обоснованные пределы колебания расчетной скорости движения воды в трубах исходя из чисто технических соображений. Между тем, анализируя приведенную зависимость, можно легко видеть, что изменение скорости v (при заданном расчетном расходе) существенно влияет на экономические показатели системы водоснабжения.

Рассмотрим случай подачи воды в количестве Q м^3/с насосами в водонапорную башню по водоводу длиной l. Геометрическая высота подъема воды H_0 (рис. III.5).

Из приведенной выше формулы видно, что с увеличением v диаметр водовода уменьшается, что обусловливает снижение его строительной стоимости.

Увеличение скорости влечет за собой увеличение потерь напора в водоводе. Как известно из гидравлики, потери напора h в напорных линиях выражаются формулой

$$h = \lambda \frac{v^2 l}{2g}.$$

Увеличение потерь напора увеличивает высоту подачи воды насосом H; соответственно возрастает требуемая мощность насосной станции

$$N = \frac{Q(H_0 + h)}{102\,\eta}$$

и количество энергии, затрачиваемой на подъем воды.

Таким образом, при заданном расходе подаваемой воды уменьшение расчетной скорости v ведет к увеличению затрат на строительство водовода и уменьшению эксплуатационных затрат, связанных с подъемом воды (т. е. стоимости затрачиваемой электроэнергии).

Наоборот, при больших v увеличивается стоимость расходуемой энергии и снижается стоимость строительства.

Система водоснабжения, как и всякое сооружение, должна быть запроектирована наиболее экономично. Правильный с экономической точки зрения расчет водопроводных линий должен учитывать взаимосвязь их работы с работой насосных станций и обеспечивать экономически наивыгоднейшее решение этого комплекса. Таким образом, задача определения диаметров труб водоводов и линий сети может быть разумно решена только в результате учета требований экономики Эта задача является по своему существу задачей технико-экономической. Схема решения подобных задач может быть представлена следующим образом.

Обозначив через $C_{ст}$ стоимость строительства водопроводной линии и через $C_э$ стоимость ее эксплуатации за год, получим общие суммарные затраты за некоторый срок t: $W_{общ} = C_{ст} + tC_э$. В эксплуатационные затраты $C_э$ входят стоимость ремонтных работ (которая зависит от $C_{ст}$ и может быть выражена как $pC_{ст}$) и стоимость энергии, затрачиваемой на подъем воды, $C'_э$. Обе эти величины зависят от диаметра линии или (при заданном расходе) от скорости движения воды v. Стоимость содержания эксплуатационного персонала не зависит фактически от d или v (при широком диапазоне изменения этих величин) и может не учитываться.

Следовательно, можно написать, что

$$W_{общ} = C_{ст} + t\left(pC_{ст} + C'_э\right).$$

Отсюда приведенные затраты (затраты на строительство и эксплуатацию, условно приведенные к одному году)

$$W = \frac{1}{t} W_{общ} = \left(\frac{1}{t} + p\right) C_{ст} + C'_э.$$

Эта величина может быть выражена в функции расчетной скорости v или непосредственно в функции диаметра трубы d. При увеличении d (уменьшении v) первое слагаемое возрастает, а второе уменьшается, и наоборот. Характер изменений ежегодных отчислений со строительной стоимости $[(1/t)+p]C_{ст}$, стоимости энергии $C'_э$, а также приведенных затрат W в функции v схематически показан на рис. III.6, *а* и в функции d — на рис. III.6, *б*. Значения экономически наивыгоднейшей скорости или экономически наивыгоднейшего диаметра определяются величинами абсцисс тех точек кривых W, которые соответствуют их наименьшим ординатам.

Как будет показано в главе 7, экономически наивыгоднейшие диаметры водопроводных линий могут быть непосредственно определены в зависимости от заданного расхода.

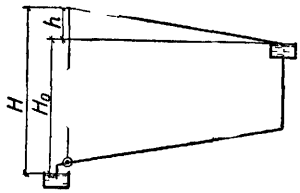


Рис III 5

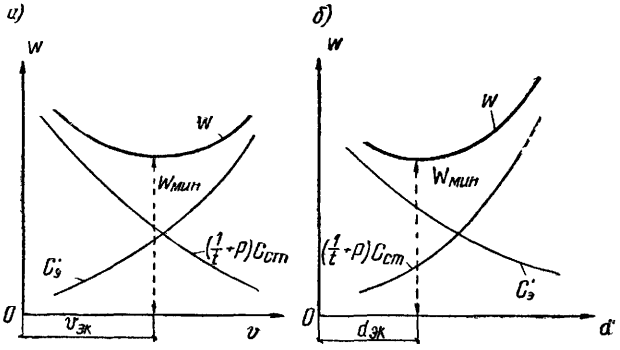


Рис. III 6

Формула для определения экономически наивыгоднейшего диаметра отдельных независимо работающих линий имеет следующий вид:

$$d_{эк} = Э^x Q^y,$$

где $Э$ — «экономический фактор», который содержит ряд экономических показателей (включая стоимость энергии, стоимость труб и их укладки и т. п.); для обычных условий значение $Э$ лежит в пределах от 0,5 до 1;

Q — расчетный расход линии. При работе труб в квадратичной области сопротивлений $y=3\chi$.

Эта формула может быть получена как частный случай из более общих формул, приведенных в главе 7. Там же приводятся методы определения величины экономического фактора.

В практике проектирования для определения экономически наивыгоднейших диаметров труб используют также некоторые средние значения экономически наивыгоднейших скоростей $v_{эк}$. Эти скорости будут больше для больших и меньше для малых диаметров.

Далее в главе 7 будет показано, что единой экономически наивыгоднейшей скорости для всех линий одной сети установить вообще нельзя. Экономически наивыгоднейшая скорость для отдельных участков данной сети различна и зависит не только от расчетного расхода данной линии, но и от полного расхода, подаваемого в сеть, расположения данного участка в сети и от конфигурации самой сети.

Так как водопроводные трубы изготовляются определенных стандартных диаметров, практически приходится принимать в качестве

экономически наивыгоднейшего диаметра стандартный диаметр, ближайший к полученному по приведенной формуле.

Для определения экономически наивыгоднейших диаметров весьма удобно пользоваться таблицами «предельных экономических расходов». Понятие предельных экономических расходов введено проф. Л. Ф. Мошниным. Под предельными экономическими расходами понимаются граничные (наибольшие и наименьшие) значения расходов, при которых данный стандартный диаметр будет более выгоден, чем другие (при данном значении экономического фактора).

В приложении I дана таблица предельных экономических расходов для чугунных водопроводных труб при значениях экономического фактора 0,5; 0,75 и 1.

При расчете сетей приходится определять диаметры участков сети, а не независимо работающих линий. Как показано в главе 7, на значение экономически наивыгоднейшего диаметра участка сети влияет не только его расчетный расход q_{i-l}, но и общий расход Q, подаваемый в сеть насосной станцией, а также роль данного участка в работе сети. Поэтому экономически наивыгоднейшие диаметры участков сети следует выбирать (при пользовании таблицей предельных экономических расходов приложения I) по так называемым «приведенным» расходам, учитывающим все сказанное и определяемым по формуле (см. § 29):

$$q'_{i-k} = \left(\frac{Э}{Э_{табл}} \cdot \frac{Qx_{i-k}}{q_{i-k}}\right)^{1/3} q_{i-k},$$

где $Э$ и $Э_{табл}$ — экономический фактор, соответственно определенный для проектируемой системы и принятый при составлении таблицы (см. приложение I).

Коэффициент x_{i-k}, характеризующий роль данного участка в работе сети, при приближенных расчетах может рассматриваться как $1/n$ суммарного расхода, идущего по n параллельно включенным магистралям (в одну из которых входит рассматриваемый участок). Такой приближенный способ определения диаметров применен в примере расчета сети в § 24.

При пропуске через сеть пожарного расхода допускается повышение скоростей и потерь напора сверх экономически наивыгоднейших. Пожар продолжается в течение сравнительно небольшого времени, и работа сети во время пожара не может существенно отразиться на экономике системы.

§ 19. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА В ТРУБАХ

Теория движения жидкости по напорным трубопроводам и гидравлических сопротивлений в трубах рассматривается в курсе гидравлики.

Потери напора на трение в трубах могут быть выражены через скорость или расход формулами:

$$h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ и } h = k\frac{Q^2 l}{d^5},$$

где l — длина трубы;
d — ее диаметр;
v — скорость потока;
Q — расход в трубе;
λ и k — коэффициенты потерь напора ($k = \frac{8\lambda}{g\pi^2} \approx 0{,}083\lambda$).

Величины λ и k зависят от режима движения жидкости (области гидравлических сопротивлений) и определяются по эмпирическим формулам, выведенным на основании опытов с трубами различных типов и материалов. В течение ряда лет в нашей практике проектирования широко использовалась формула акад. Н. Н. Павловского, выведенная для области квадратичного сопротивления.

Во ВНИИ ВОДГЕО д-ром техн. наук Ф. А. Шевелевым начиная с 1950 г. проводились обширные лабораторные и натурные исследования по определению сопротивлений в чугунных, стальных и асбестоцементных водопроводных трубах. Исследованиями было установлено, что новые металлические трубы при используемых в водопроводной практике скоростях всегда будут работать в переходной области. Трубы, бывшие в употреблении, при скоростях $v \geqslant 1{,}2$ м/с работают в квадратичной области и при скоростях $v < 1{,}2$ м/с — в переходной области.

Для бывших в употреблении стальных и чугунных труб Ф. А. Шевелевым предложены следующие формулы для определения потерь напора на единицу длины:

при $v \geqslant 1{,}2$ м/с (квадратичная область)

$$i = 0{,}00107 \frac{v^2}{d^{1,3}};$$

при $v < 1{,}2$ м/с (переходная область)

$$i = 0{,}000912 \frac{v^2}{d^{1,3}} \left(1 + \frac{0{,}867}{v}\right)^{0,3}.$$

По этим формулам составлены расчетные таблицы, облегчающие ведение расчета[1].

Во всех случаях, когда не предполагается проведение специальных мероприятий по предохранению от коррозии внутренней поверхности стенок труб, потери напора при проектировании водопроводных сетей следует определять по формулам для труб, бывших в употреблении.

При расчете водопроводных сетей для определения потерь напора весьма удобно пользоваться формулами вида:

$$h = sQ^2,$$

где s — сопротивление трубы, равное $s_0 l$ (здесь s_0 — удельное сопротивление, l — длина трубы).

При работе труб в квадратичной области удельное сопротивление $s_0 = k/d^m$ зависит не от скорости или расхода, а лишь от диаметра трубы и шероховатости поверхности ее стенок (характеризуемой коэффициентами k или λ).

В приложении II (табл. 1 и 2) даны удельные сопротивления, вычисленные по указанным формулам для чугунных и стальных труб или их работе в квадратичной области.

При работе труб в переходной области значения k, а следовательно, значения s_0 и s зависят от скорости (или, что то же, от расхода).

Выражение для s в этом случае содержит в знаменателе расход в

[1] «Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб». Ф. А. Шевелев (ВНИИ ВОДГЕО). М., Стройиздат, 1973.

некоторой дробной степени. Поэтому для переходной области в общем виде

$$h = s' Q^{\beta} = s_0' l Q^{\beta},$$

где $\beta < 2$.

В формуле такого вида удельные сопротивления s' (так же, как и в квадратичных формулах) зависят только от диаметра и шероховатости поверхности стенок, так как влияние скорости учтено в значении показателя степени β. Для непосредственных расчетов такие формулы неудобны, так как требуют возведения в дробную степень.

Для упрощения вычислений можно и для переходной области определять потери напора по формуле вида

$$h = SQ^2 = s_0 l Q^2,$$

но тогда величины s_0, найденные из табл. 1 и 2 приложения II, необходимо при скоростях движения воды, меньших 1,2 м/с, умножать на некоторый поправочный коэффициент

$$\delta_1 = 0{,}852\left(1 + \frac{0{,}867}{v}\right)^{0{,}3}.$$

Значения δ_1 даны в табл. 3 приложения II.

При решении практических задач по определению потерь напора в водопроводных линиях следует также иметь в виду, что чугунные трубы изготовляются различных классов, отличающихся толщиной стенок.

Стальные трубы средних и больших диаметров изготовляются также с различной толщиной стенок, причем изменение толщины стенки отражается на внутреннем диаметре трубы.

Для определения потерь напора в асбестоцементных трубах, которые практически всегда работают в переходной области, Ф. А. Шевелевым предложена формула

$$i = 0{,}000561 \frac{v^2}{d^{1{,}19}}\left(1 + \frac{3{,}51}{v}\right)^{0{,}19}.$$

По этой формуле также составлены полные расчетные таблицы (см. сноску на стр. 63).

В табл. 4 приложения II приведены значения удельных сопротивлений s_0 (для формулы вида $h = slQ^2$) для асбестоцементных труб различных классов при скорости движения воды $v = 1$ м/с, а в табл. 5 — значения поправочных коэффициентов δ_2 для скоростей, отличных от 1 м/с.

Приведенные здесь формулы и система предложенных поправочных коэффициентов дают возможность определять величину удельных гидравлических сопротивлений s_0 и при известных длинах линий их полные гидравлические сопротивления, т. е. величины, широко используемые ниже в формуле вида $h = sQ$ (при изложении теории расчета водопроводных сетей).

Для определения потерь напора в пластмассовых трубах отечественного изготовления Ф. А. Шевелевым предложена формула

$$i = 0{,}000685 \frac{v^{1{,}774}}{d_{\text{р}}^{1{,}226}}$$

с учетом возможных отклонений качества укладки и монтажа трубопроводов в производственных условиях от лабораторных условий.

Тогда величина удельного сопротивления для таких труб будет:

$$s_0 = \frac{0{,}00111}{v^{0{,}226} d_р^{5{,}226}}.$$

В таблицах Ф. А. Шевелева даются значения s_0 для $v=1$ м/с и поправочные коэффициенты для s_0 при скоростях движения, отличных от 1 м/с.

Глава 6

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

§ 20. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИХ РАСЧЕТЕ

Как было ранее сказано, водопроводная сеть в зависимости от планировки снабжаемого объекта и взаимного расположения насосных станций и резервуаров может иметь различные геометрические очертания.

Изучение некоторых геометрических свойств сети позволяет установить необходимые для ее расчета взаимоотношения между ее элементами и оценить ряд важных показателей работы сети, в частности ее надежность.

Для анализа геометрических свойств сети может быть использован ряд основных положений теории графов.

Система водопроводной сети и примыкающих к ней водоводов и ответвлений представляет собой конечный связный граф, т. е. структуру, состоящую из конечного числа вершин (узлов), связанных между собой ребрами (линиями, участками). В связном графе каждая его вершина соединяется некоторой цепью ребер с любой другой вершиной.

Ребро, удаление которого нарушает связность графа, называют связывающим ребром (например, ребро *4—5* на рис. III.7).

Узел, удаление которого приводит к нарушению связности графа, называют точкой сочленения (например, узел *11* на рис. III.7).

Большинство водопроводных сетей представляет собой плоский граф, т. е. такой, ребра которого пересекаются только в его узлах.

Число ребер, примыкающих к узлу, определяет его степень.

Рассматривая с указанных позиций водопроводные сети двух основных типов (см. рис. III.1 и III.2), можно прийти к следующим выводам.

В разветвленной сети любые ее два узла можно соединить только одной определенной цепочкой ребер (участков). Все участки разветвленной сети являются связывающими; все узлы разветвленной сети (кроме конечных) являются точками сочленения.

В кольцевой сети любые ее два узла могут быть соединены несколькими различными цепочками ребер (не менее чем двумя). Две любые цепочки (например, *1—2—3—4* и *1—5—6—4*), соединяющие какие-либо два узла (например *1* и *4*) кольцевой сети, образуют замкнутый путь (цикл) или кольцо (например, *1—2—3—4—6—5—1* на рис. III.2).

Разветвленная сеть циклов не содержит.

Цикл, который не пересекается никакими ребрами, носит назва-

ние элементарного (минимального) цикла или элементарного кольца (например, кольцо *а б в г* на рис. III.2).

Смешанные сети имеют свойства как кольцевых, так и разветвленных сетей.

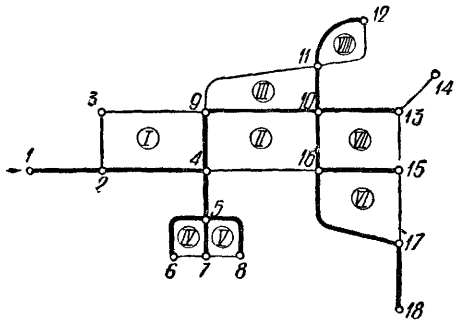


Рис. III.7

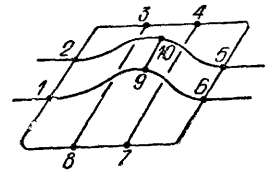


Рис. III.8

Для плоской сети любого типа может быть установлено следующее соотношение между числом ее участков p, узлов m и элементарных колец n:

$$p = n + m - 1,$$

или

$$n = p - m + 1.$$

Это соотношение может быть получено как следствие теоремы Эйлера о многогранниках.

Для разветвленной сети $n=0$ и, следовательно,

$$p = m - 1,$$

т. е. число узлов всегда на единицу меньше числа участков.

Очевидно, что для превращения кольцевой сети в разветвленную необходимо удалить n ее участков (по одному из каждого кольца). Полученная таким образом сеть называется «деревом» кольцевой сети. Из каждой кольцевой сети можно получить много вариантов дерева. Число вершин дерева всегда остается равным числу вершин соответствующей кольцевой сети.

В практике встречаются водопроводные сети, представляющие собой пространственный граф, который не может быть уложен на плоскость. Например, при пересечении в плане водопроводных линий, прокладываемых (расположенных) фактически в разных плоскостях, одни трубы проходят по виадуку (или мосту) над улицей, вдоль которой идут другие трубы. Иногда трубы каждой из этих категорий соединяют между собой перемычками (*9—10* на рис. III.8).

Для пространственной сети соотношение между числом ее участков p и узлов m выражается так:

$$p - m + 1 = \nu,$$

где ν — так называемое цикломатическое число; всегда $\nu \leqslant n$.

Во многих пространственных сетях (содержащих циклы) $\nu < n$.

§ 21. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О РАСЧЕТЕ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Целью расчета сети является определение экономически наивыгоднейших диаметров труб всех ее участков и потерь напора в них. Однако сеть нельзя рассчитывать изолированно от всего комплекса гидравлически взаимосвязанных сооружений системы подачи и распределения воды (насосных станций, водоводов и напорных аккумулирующих емкостей).

Само понятие экономически наивыгоднейшего диаметра (см. § 18) возникло из рассмотрения условий совместной работы водопроводных линий и водопитателя (насосной станции), затрачивающего энергию на подъем воды.

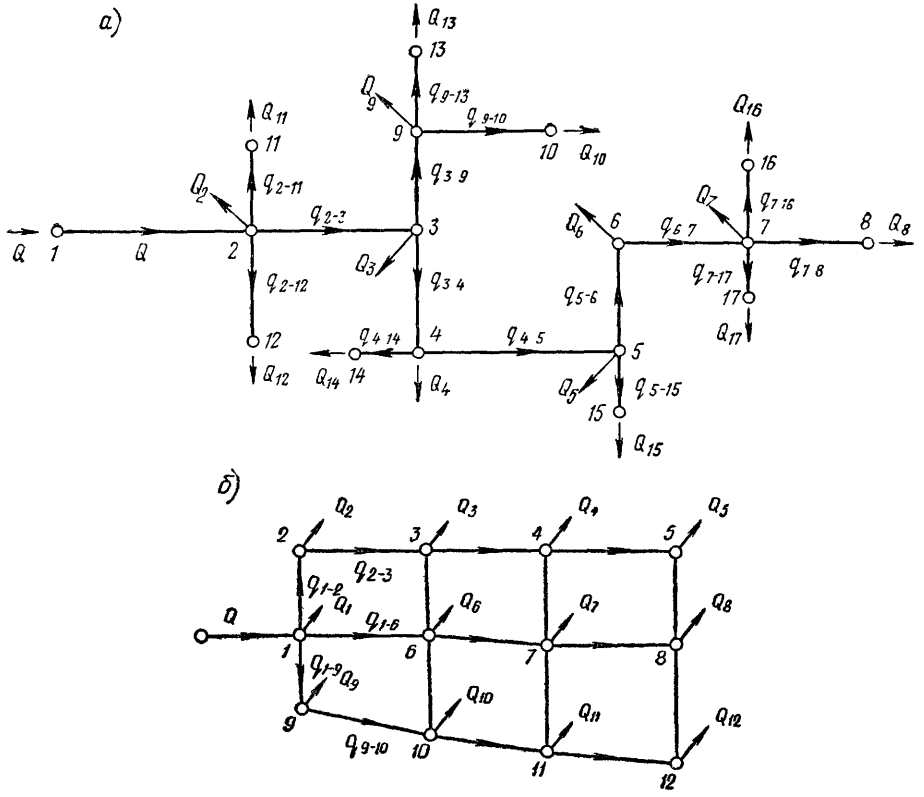


Рис. III.9

Основы полного технико-экономического расчета сетей приводятся далее, в главе 7.

В практике проектирования, как было сказано, для приближенного определения экономически наивыгоднейших диаметров участков сети эти участки можно рассматривать как независимо работающие линии. Тогда их диаметры определяются по формуле $d = \mathcal{Э}^{x} Q^{3x}$ или по таблице предельных экономических расходов (приложение I).

При любых методах расчета для нахождения диаметров участков сети необхсдимо знать расчетные расходы в этих участках.

Для сети, которая подвергается расчету, всегда известны (заданы) ее конфигурация, длины участков и отборы воды в узлах — действительные или фиктивные (найденные в соответствии с указаниями § 17). Сети, подготовленные к расчету, показаны на рис. III.9.

При наличии одного водопитателя и отсутствии нефиксированных отборов (см. § 17) подача воды водопитателем будет также известна и равна сумме отборов Q_i.

Для нахождения расходов воды q_{i-k} в p участках сети могут быть использованы уравнения первого закона Кирхгофа, выражающие баланс расходов в узлах — «узловые уравнения»:

$$\Sigma q_{i-k} + Q_i = 0, \qquad \text{(III 2)}$$

где i — номер узла.

При этом расходы, приходящие к узлу, условно считают положительными, а уходящие от узла (включая отбор) — отрицательными.

Число таких (независимых) уравнений для указанных условий питания сети будет $m-1$, где m — число узлов сети.

Для одного из узлов уравнение баланса расходов превращается в тождество (так как сумма всех отборов известна и равна подаче Q).

Так как в разветвленной сети всегда $p=m-1$, то очевидно, что указанного числа узловых уравнений достаточно для определения всех неизвестных q_{i-k}.

Таким образом, если в узлах разветвленной сети (с одним источником питания) заданы отборы воды, то расходы во всех ее участках (и по направлению, и по величине) определяются единственно возможным образом. Это является следствием того свойства разветвленной сети, что от любого ее узла до начального узла имеется только один возможный путь.

Легко видеть, что для сети на рис. III.9, *а*, идя от наиболее удаленного узла *8* к начальному узлу *1*, можно путем последовательного сложения узловых отборов Q_i получить значения расходов q_{i-k} во всех участках сети. По этим расходам могут быть получены (приближенными или точными методами) искомые экономичные диаметры.

В кольцевых сетях значения расходов воды в участках должны удовлетворять одновременно не только уравнениям первого закона Кирхгофа [уравнениям (III.2)], но и уравнениям второго закона Кирхгофа.

Для гидравлических сетей, как известно, эти уравнения (контурные уравнения) выражают равенство нулю алгебраической суммы потерь напора в каждом из колец сети I:

$$\left(\Sigma s_{i-k}\, q_{i-k}^{\beta}\right)I = 0, \qquad \text{(III.3)}$$

Число уравнений (III.3) равно числу элементарных колец сети n. Вместе с $m-1$ узловыми уравнениями мы будем иметь $n+m-1=p$ уравнений для определения p неизвестных расходов в участках.

Из приведенной схемы кольцевой сети (рис. III.9, *б*) легко видеть, что при заданных узловых отборах можно найти неограниченное число вариантов значений расходов q_{i-k}, которые удовлетворяли бы уравнениям $\Sigma q_{i-k}+Q_i=0$ во всех узлах. Это является следствием того, что в кольцевой сети между любыми двумя ее узлами можно наметить несколько путей.

Рассматривая систему уравнений (III.3), легко видеть, что кроме неизвестных расходов q_{i-k} в них входят также неизвестные диаметры участков d_{i-k} (так как величины s_{i-k} выражаются в функции диаметров). Таким образом, отыскивая расходы q_{i-k}, чтобы определить по ним диаметры, мы убеждаемся, что значения расходов q_{i-k} в участках кольцевой сети в свою очередь зависят от диаметров.

Это соответствует физическому смыслу законов движения воды в кольцевых сетях. Любые изменения диаметров любых участков кольцевой сети неизбежно вызывают перераспределение расходов во всей сети, т. е. изменение расходов во всех ее участках. При любом распределении расходов будут автоматически удовлетворяться уравнения и первого и второго закона Кирхгофа.

Для одновременного нахождения неизвестных q_{i-k} и d_{i-k}, т. е. всех 2 p неизвестных, полученных систем уравнений (III.2) и (III.3) недостаточно.

Рассматривая пока задачу расчета сети без привлечения уравнений экономичности, т. е. не обращаясь к методам полного технико-эко-

номического расчета, приходим к заключению, что ее решение возможно лишь при условии, если мы предварительно зададимся значениями неизвестных q_{i-k} или d_{i-k}.

Трудно найти основания для сколько-нибудь разумного назначения диаметров при неизвестных расходах. Между тем для наметки предварительного распределения расходов по участкам сети, т. е. для нахождения расходов q_{i-k} (при пока неизвестных диаметрах), можно привести ряд существенных соображений и в основном соображений о необходимости обеспечения требуемой надежности сети (см. § 22).

В дальнейшем в главе 7 будет показано, что и в том случае, когда для определения экономически наивыгоднейших диаметров сети используются соответствующие системы экономических уравнений, все же необходимо задаваться значениями расходов воды в участках сети.

Таким образом, возникает ответственная задача обоснования выбора начального потокораспределения в кольцевых сетях (см. § 22). После выбора начального потокораспределения [с удовлетворением уравнений (III.2)] по полученным расходам в участках находят (по приближенным формулам) величины экономически наивыгоднейших диаметров.

Затем необходимо произвести перераспределение расходов по участкам сети при уже известных d_{i-k} (а следовательно, и s_{i-k}), с тем чтобы добиться удовлетворения не только уравнений (III.2), но и уравнений (III.3).

Такой расчет является по существу поверочным расчетом сети и носит название гидравлической увязки сети. Методы поверочного расчета сети при одном водопитателе и без нефиксированных отборов рассматриваются в § 24, а при нескольких водопитателях и нефиксированных отборах — в § 25. Наконец, в главе 7 даются основы полного технико-экономического расчета сетей.

§ 22. НАЧАЛЬНОЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В КОЛЬЦЕВЫХ СЕТЯХ И ТРЕБОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Назначение (выбор) предварительного распределения расходов воды по участкам кольцевой сети является весьма ответственной задачей проектирования и расчета водопроводных сетей.

Как было указано, при заданной конфигурации сети, длинах ее линий, местах и величинах отборов воды из сети может быть намечено неограниченное число вариантов распределения расходов воды по ее участкам. При каждом из таких вариантов можно обеспечить заданные величины отборов воды и удовлетворить условия баланса расходов в узлах[1].

Одним из важнейших критериев для выбора рационального варианта распределения расходов в сети является требование надежности.

На первый взгляд казалось бы целесообразным попытаться выбрать такой вариант распределения расходов, при котором вода подавалась бы к точке каждого отбора возможно более коротким путем. Действительно, это обеспечило бы наименьшую длину и стоимость сети, но одновременно привело бы к превращению кольцевой сети в разветвленную, а такая сеть в отношении надежности является неприемлемой для большинства потребителей.

Кольцевание сети является основным мероприятием по обеспечению ее надежности.

[1] Об удовлетворении условий баланса потерь напора в кольцах на этой стадии проектирования не может быть речи, так как еще неизвестны диаметры труб.

Однако для того чтобы снижение подачи воды потребителям в результате возможных аварий на линиях сети было наименьшим, сеть должна не только иметь кольцевую форму, но и обеспечивать требуемую взаимозаменяемость ее параллельно включенных ветвей при аварии на одной из них.

Особенно важно обеспечить взаимозаменяемость соответствующих участков параллельно включенных основных транзитных магистралей ($АБ_1$, $АБ_2$ и т. п. на рис. III.10).

Авария в точке $М$ на головном участке $Аа_2$ одной из параллельных магистралей сети может вызвать значительное снижение подачи воды объекту в целом. Чтобы снизить влияние такой аварии, остальные участки должны иметь достаточную пропускную способность.

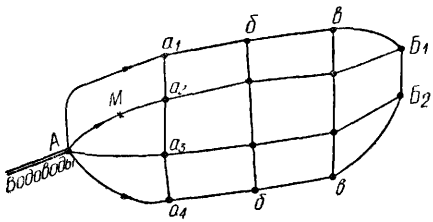


Рис. III.10

С этой целью при назначении начального потокораспределения общий расход воды, подаваемой в сеть, должен быть по возможности равномерно распределен между параллельными магистралями.

«Перемычки», соединяющие основные транзитные магистрали, при нормальной работе системы мало участвуют (или не участвуют) в транзитной передаче воды и служат в основном для обеспечения водой потребителей, получающих воду непосредственно из этих линий (цепочки линий *аа, бб, вв*).

Однако при авариях на магистралях перемычки начинают работать, перебрасывая воду с одних транзитных магистралей на другие (в обход выключенного поврежденного участка).

Сеть должна быть проверена на выполнение требований по подаче воды в периоды аварии. Для этого кроме основной схемы потокораспределения для условий нормальной работы сети необходимо составлять еще схемы распределения расходов для наиболее опасных возможных аварий (при этом распределяется по сети расход $Q_а$, где $Q_а$ — допустимый общий расход воды при аварии).

Как указывалось, диаметры труб участков сети должны быть определены с учетом схем нормального и аварийного распределения потоков. Это не означает, что величины расчетных расходов магистралей будут сильно завышены, так как при аварии (по нормам) допускается снижение общего количества воды, подаваемой объекту, т. е. $Q_а < Q$.

Требования к надежности систем водоснабжения должны устанавливаться в зависимости от требований потребителей к бесперебойности подачи воды. Для систем городского водоснабжения, согласно действующим нормам (СНиП II-Г.3-62), в случае выключения (для ликвидации аварии) одной из линий кольцевой сети или одного из участков параллельно уложенных водоводов (см. § 52) подача воды на хозяйственно-питьевые нужды объекта в целом не должна снижаться более чем на 50%. Для систем производственного водоснабжения допустимый процент снижения подачи воды или допустимость перерывов подачи устанавливаются в зависимости от характера технологического процесса производства. Для ряда производств устанавливаются также предельно допустимая длительность и частота повторяемости перерывов или снижений подачи воды. Численные критерии надежности отдельных сооружений и элементов системы водоснабжения могут

быть получены в результате обработки статистических материалов длительных наблюдений за случайными событиями (в основном авариями), вызывающими «отказ» системы, т. е. снижение эксплуатационных ее показателей ниже допустимых пределов. В частности, полученные таким путем критерии надежности могут использоваться для оценки надежности водопроводных сетей из различных по материалу труб и с различными конструкциями стыков.

§ 23. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЕРОЧНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Задача поверочного расчета сети заключается в определении расходов воды в участках сети при уже известных диаметрах труб, а также в определении подач Q и напоров H всех водопитателей и нефиксированных отборов воды из сети при известных (намеченных, заданных) характеристиках этих водопитателей и отборов.

Таким образом, при поверочном расчете заданными являются: а) диаметры и длины всех водопроводных линий и, следовательно, их гидравлические сопротивления; б) фиксированные узловые отборы воды; в) напорно-расходные характеристики $Q—H$ всех водопитателей и нефиксированных отборов. Известны также геодезические отметки узлов системы.

Рассмотрим общий случай кольцевой сети, имеющей p участков, m узлов, n колец и e водопитателей и нефиксированных отборов. По физическому смыслу задача может иметь единственно возможное решение: если в построенную сеть подавать воду определенными насосами, то, очевидно, по всем участкам сети пойдут совершенно определенные количества воды.

Неизвестными при поверочном расчете сети будут: а) расходы q_{i-k} и потери напора h_{i-k} во всех участках системы; б) подачи водопитателей и нефиксированные отборы; в) пьезометрические напоры во всех узлах системы.

Следует отметить, что если все указанные расходы будут найдены, то легко могут быть определены потери напора и пьезометрические напоры во всех узлах (если хоть одна из пьезометрических отметок системы будет задана).

Число неизвестных расходов для рассматриваемой системы составляет $p+e$, где p — число расходов в участках, e — число подач водопитателей и нефиксированных отборов. Для их нахождения могут быть построены следующие системы уравнений:

а) m узловых уравнений $\Sigma q_{i-k}+Q_i=0$ для всех узлов сети;

б) n контурных уравнений $\Sigma s_{i-k} q_{i-k}^{\beta} =0$ для всех колец сети;

в) $e-1$ уравнений, связывающих между собой e водопитателей и нефиксированных отборов.

Последние уравнения имеют вид

$$F(Q)_I - F(Q)_K = (\Sigma h)_{I-K}$$

и связывают попарно напоры водопитателей (выраженные в функции подачи Q) через потери напора в цепи соединяющих их линий (I, K — номера соответствующих узлов).

Общее число уравнений будет:

$$(m+n-1)+e=p+e,$$

т. е. достаточно для нахождения всех неизвестных расходов.

Уравнения «а» — уравнения баланса расходов в узлах.

Уравнения «б» и «в» — уравнения гидравлической увязки.

Уравнения «а» удовлетворяются, как было сказано, при первоначальном потокораспределении.

Удовлетворение уравнений «б» (уравнений баланса потерь напора в кольцах сети) показывает, что достигнуто правильное распределение расходов в сети при принятых диаметрах.

Удовлетворение уравнений «в» свидетельствует, что получены такие подачи водопитателей и нефиксированные отборы, которые соответствуют их характеристикам $Q-H$ и будут иметь место при совместной работе водопитателей с сетью.

Уравнения «б» могут быть названы уравнениями «внутренней увязки», а уравнения «в» — уравнениями «внешней увязки».

В тех случаях, когда сеть имеет один водопитатель и не имеет нефиксированных отборов, для нахождения истинного распределения потоков воды в сети (т. е. величин всех расходов q_{i-k}) достаточно уравнений «б» (при соблюдении условий «а»). С этого, наиболее простого случая мы начнем рассмотрение методов поверочных расчетов сетей.

§ 24. ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ВНУТРЕННЕЙ УВЯЗКИ КОЛЬЦЕВЫХ СЕТЕЙ

При назначении начального потокораспределения в сети легко соблюдаются условия $\Sigma q_{i-k}+Q_i=0$ в узлах, но практически невозможно предусмотреть и обеспечить удовлетворение условий $\Sigma h_{i-k}=0$, или $\Sigma s_{i-k}q_{i-k}^{\beta}=0$ в кольцах. Поэтому после нахождения диаметров по первоначально намеченным расходам и определения по ним потерь напора оказывается, что уравнения $\Sigma h_{i-k}=0$ для кольцевой сети не удовлетворяются.

Задачей внутренней увязки сети является такое перераспределение расходов воды по участкам сети, после которого (при уже принятых диаметрах) будут удовлетворяться не только уравнения «а», но и уравнения «б». Таким образом, поставленная задача сводится к решению системы, включающей $m-1$ линейных уравнений (III.2) (при заданной подаче) и n нелинейных уравнений (III.3). Неизвестными являются $p=n+m-1$ истинных значений расходов q_{i-k} в участках сети.

Систему n нелинейных уравнений можно выразить в общем виде так:

$$\left.\begin{aligned} F_1(q_1, q_2, \ldots, q_f)&=0;\\ F_2(q_g, q_{g+1}, \ldots, q_j)&=0;\\ \cdots\cdots\cdots\cdots&\\ F_n(q_m, q_{m+1}, \ldots, q_p)&=0 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III.4)}$$

Каждое уравнение относится к одному из колец сети.

Все функции F имеют одинаковый вид $\Sigma s_{i-k}q_{i-k}^{\beta}$, но в каждую входят различные «наборы» неизвестных расходов q_{i-k}. Расходы смежных участков входят в уравнения двух соседних колец.

Для решения систем нелинейных уравнений широко используется метод Ньютона и его многочисленные модификации. Основа этих методов сводится к тому, что предварительно задают значения неизвестных q^0_{i-k} (возможно более близкие к их истинным значениям) и значения расходов в уравнениях (III.4) заменяют через $q^0_{i-k}+\Delta q_{i-k}$, где Δq_{i-k} — искомая поправка к первоначально принятым значениям неизвестных.

Производя в системе (III.4) указанную подстановку и раскладывая в ряд все функции F (ограничиваясь линейными членами разложения), получим;

$$\left.\begin{aligned}
&F_1\left(q_1^0, q_2^0,\ldots,q_f^0\right)+\left(\frac{\partial F_1}{\partial q_1}\Delta q_1+\frac{\partial F_1}{\partial q_2}\Delta q_2+\ldots+\frac{\partial F_1}{\partial q_f}\Delta q_f\right)=0;\\
&F_2\left(q_g^0, q_{g+1}^0,\ldots,q_j^0\right)+\left(\frac{\partial F_2}{\partial q_g}\Delta q_g+\frac{\partial F_2}{\partial q_{g+1}}\Delta q_{g+1}+\ldots+\frac{\partial F_2}{\partial q_j}\Delta q_j\right)=0;\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&F_n\left(q_m^0, q_{m+1}^0,\ldots,q_p^0\right)+\left(\frac{\partial F_n}{\partial q_m}\Delta q_m+\frac{\partial F_n}{\partial q_{m+1}}\Delta q_{m+1}+\ldots+\frac{\partial F_n}{\partial q_p}\Delta q_p\right)=0.
\end{aligned}\right\}\qquad \text{(III.4а)}$$

Здесь первый член каждого уравнения представляет собой ту же функцию, что и в уравнениях (III.4), но при подстановке в нее принятых значений расходов q^0_{i-k}, т. е. все первые члены полученных уравнений представляют собой алгебраическую сумму («невязку») потерь напора в каждом из n колец сети для первоначального распределения расходов: $\Sigma h^0=\Sigma s_{i-k}\left(q^0_{i-k}\right)^\beta=\Delta h$ и являются величинами известными.

Неизвестными являются поправки Δq_{i-k}. Коэффициентами при них служат величины $\partial F_I/\partial q_{i-k}$, т. е. частные производные функции F для соответствующего кольца по соответствующему переменному q_{i-k}. При подстановке значений q^0_{i-k} эти коэффициенты будут иметь вид $\beta s_{i-k}\times\left(q^0_{i-k}\right)^{\beta-1}$. Таким образом, все коэффициенты при неизвестных Δq_{i-k} могут быть вычислены.

Следовательно, мы получили вместо системы n нелинейных уравнений для q_{i-k} систему n линейных уравнений для Δq_{i-k} — поправок к первоначально заданным расходам q^0_{i-k}:

$$\left.\begin{aligned}
&\Delta h_1+\beta s_1\left(q_1^0\right)^{\beta-1}\Delta q_1+\beta s_2\left(q_2^0\right)^{\beta-1}\Delta q_2+\ldots+\beta s_f\left(q_f^0\right)^{\beta-1}\Delta q_f=0;\\
&\Delta h_2+\beta s_g\left(q_g^0\right)^{\beta-1}\Delta q_g+\beta s_{g+1}\left(q_{g+1}^0\right)^{\beta-1}\Delta q_{g+1}+\ldots+\beta s_j\left(q_j^0\right)^{\beta-1}\Delta q_j=0;\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\Delta h_n+\beta s_m\left(q_m^0\right)^{\beta-1}\Delta q_m+\beta s_{m+1}\left(q_{m+1}^0\right)^{\beta-1}\Delta q_{m+1}+\ldots+\beta s_p\left(q_p^0\right)^{\beta-1}\Delta q_p=0.
\end{aligned}\right\}\qquad \text{(III.4б)}$$

Эта система уравнений должна решаться при одновременном удовлетворении m—1 уравнений (III.2).

Решение систем линейных уравнений может, как известно, производиться различными способами, но для многокольцевых сетей представляет весьма громоздкую процедуру, требующую большого объема вычислительной работы.

Широко используются методы последовательного приближения с применением различных приемов отыскания неизвестных на каждом шаге приближения.

Проф. В. Г. Лобачев для построения системы линейных уравнений относительно поправок к первоначально принятым значениям расходов воды в участках сети [аналогичной системе (III.4а)] удачно использовал понятие циркуляционных (контурных) расходов в кольцах сети, выразив через эти расходы (Δq_I) все величины поправок Δq_{i-k} к расходам в участках.

Путь построения таких расчетных уравнений может быть легко показан на примере кольцевой сети, представленной на рис. III.11. В этой четырехкольцевой сети заданы длины линий и отборы воды в узлах Q_i. Так как сеть имеет один водопитатель и не имеет нефиксированных отборов, общая подача воды водопитателем $Q=\Sigma Q_i$.

После предварительного распределения расходов q_{i-k} по участкам сети [удовлетворяющего уравнениям (III.2)] и нахождения по ним диаметров труб величины гидравлических сопротивлений s_{i-k} становятся известными.

Следовательно, для каждого участка сети могут быть найдены потери напора $h_{i-k}=s_{i-k}q^{\beta}_{i-k}$ и для каждого кольца вычислены алгебраические суммы потерь напора $\Sigma h_{i-k}=\Sigma s_{i-k}q^{\beta}_{i-k}=\Delta h$ [соответствующие свободным членам $F_I(q^0_{i-k}\ldots)$ уравнений (III.4а)].

Как было сказано, эти суммы (т. е. невязки потерь напора) вообще не будут равны нулю и, следовательно, уравнения (III.3) не будут удовлетворяться.

Мы получим $(\Sigma h_{i-k})_I=\Delta h_I\neq 0$, т. е. так называемую «невязку» потерь напора в кольце *I*. Величины и знаки невязок дают представление о степени и характере отличия принятого первоначального распределения расходов q_{i-k} от того, которое должно быть для удовлетворения уравнений (III.3), т. е. для $\Sigma h_{i-k}=0$.

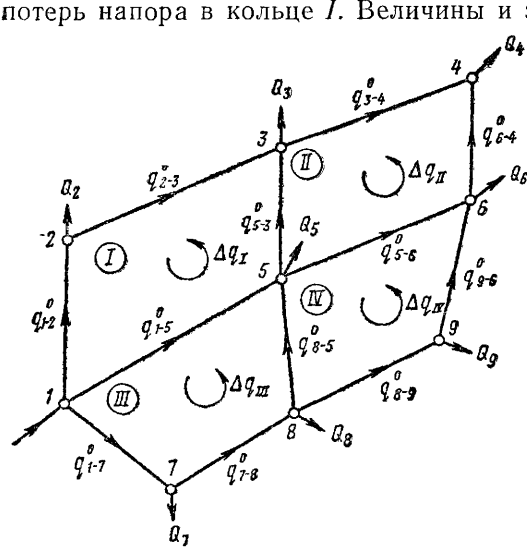


Рис. III.11

Примем условно расходы q_{i-k} и потери напора h_{i-k} в тех участках, в которых вода обтекает данное кольцо по часовой стрелке, за положительные, а при движении воды в обратном направлении — за отрицательные.

Пусть в рассматриваемой сети (при первоначально назначенных расходах q_{i-k} и принятых по ним диаметрах) невязки Δh_I во всех кольцах получились положительными ($\Delta h_I>0$). Это значит, что в данной сети относительно перегруженными (по сравнению с истинным распределением расходов) оказались верхние и правые участки в каждом кольце.

Очевидно, что проведение в каждом кольце некоторого контурного расхода Δq_I в направлении, обратном знаку невязки Δh_I, приводит к снижению величины невязки. Очевидно также, что расход Δq_I (который приведет к увязке кольца) будет тем больше по абсолютной величине, чем больше абсолютная величина соответствующей невязки Δh_I.

Путь проведения таких контурных расходов Δq_I во всех четырех кольцах показан на рис. III.11 стрелками.

Величину расхода Δq_I следует прибавлять к величинам тех расходов, направление которых совпадает с его направлением, и вычитать из величин тех расходов, направление которых не совпадает с его направлением.

В результате проведения контурных расходов будут получены поправки к первоначально намеченным расходам в участках q^0_{i-k}.

Для участков внешнего контура сети поправки к расходам в участках будут по абсолютному значению равны контурному расходу соответствующего кольца. Так, для участков *1—2* и *2—3* поправки будут равны $-\Delta q_I$ и исправленные расходы составят: $q^0_{1-2}-\Delta q_I$ и $q^0_{2-3}-\Delta q_I$.

К расходам q^0_{i-k} в участках, являющихся общими для двух соседних колец, будут прибавляться с соответствующим знаком контурные расходы обоих колец, разделяемых этими участками. Так, к расходу в участке *1—5* прибавляются контурные расходы $+\Delta q_I$ и $-\Delta q_{III}$. После исправления расход этого участка составит $q^0_{1-5}+(\Delta q_I-\Delta q_{III})$. Разность, стоящая в круглых скобках, есть поправочный расход участка *1—5*, выраженный через контурные расходы колец Δq_I.

Таким образом, поправочные расходы всех участков [входящие в уравнения (III.4) и (III.4а)] могут быть выражены через контурные расходы колец. Такая замена очень удобна: число неизвестных поправок расходов [по сравнению с уравнениями (III.4) и (III.4а)] сокращается с p до n, т. е. становится равным числу колец.

При этом балансы расходов в узлах $\Sigma q_{i-k}+Q_i=0$, достигнутые при первоначальном потокораспределении, автоматически удовлетворяются при каждом проведении контурных расходов, т. е. при каждом перераспределении расходов по участкам сети.

Следовательно, задача увязки сети сводится к решению системы n линейных уравнений относительно n контурных расходов Δq_I в n кольцах сети.

Искомыми будут те поправки Δq_I, при которых невязки Δh_I обращаются в нуль.

Для рассматриваемой сети подобная система n контурных уравнений для n колец сети (если принять $\beta=2$) будет иметь вид:

$$\left.\begin{aligned}
&s_{1-2}(q^0_{1-2}-\Delta q_I)^2+s_{2-3}(q^0_{2-3}-\Delta q_I)^2-s_{5-3}(q^0_{5-3}+\\
&+\Delta q_I-\Delta q_{II})^2-s_{1-5}(q^0_{1-5}+\Delta q_I-\Delta q_{III})^2=0;\\
&s_{5-3}(q^0_{5-3}+\Delta q_I-\Delta q_{II})^2+s_{3-4}(q^0_{3-4}-\Delta q_{II})^2-\\
&-s_{6-4}(q^0_{6-4}+\Delta q_{II})^2-s_{5-6}(q^0_{5-6}+\Delta q_{II}-\Delta q_{IV})^2=0,\\
&s_{1-5}(q^0_{1-5}+\Delta q_I-\Delta q_{III})^2-s_{8-5}(q^0_{8-5}+\Delta q_{III}-\Delta q_{IV})^2-\\
&-s_{7-8}(q^0_{7-8}+\Delta q_{III})^2-s_{1-7}(q^0_{1-7}+\Delta q_{III})^2=0;\\
&s_{8-5}(q^0_{8-5}+\Delta q_{III}-\Delta q_{IV})^2+s_{5-6}(q^0_{5-6}+\\
&+\Delta q_{II}-\Delta q_{qIV})^2-s_{9-6}(q^0_{9-6}+\Delta q_{IV})^2-\\
&-s_{8-9}(q^0_{8-9}+\Delta q_{IV})^2=0.
\end{aligned}\right\}\qquad \text{(III.5)}$$

Возводя в квадрат многочлены, стоящие в скобках, и отбрасывая квадраты и произведения величин Δq_I, получим для первого кольца новое уравнение в следующем виде:

$$\left[s_{1-2}\left(q^0_{1-2}\right)^2+s_{2-3}\left(q^0_{2-3}\right)^2-s_{5-3}\left(q^0_{5-3}\right)^2-s_{1-5}\left(q^0_{1-5}\right)^2\right]-2\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{I}}\Delta q_{\mathrm{I}}+$$
$$+2s_{5-3}q^0_{5-3}\Delta q_{\mathrm{II}}+2s_{1-5}q^0_{1-5}\Delta q_{\mathrm{III}}=0.$$

Первый член уравнения (в квадратных скобках) представляет собой алгебраическую сумму потерь напора (т. е. невязку) в кольце I при начальном потокораспределении, или Δh_{I}.

Произведя те же преобразования с другими уравнениями, получим следующую систему линейных уравнений относительно Δq_I:

$$\left.\begin{aligned}
&\Delta h_{\mathrm{I}}-2\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{I}}\Delta q_{\mathrm{I}}+2\left(sq^0\right)_{5-3}\Delta q_{\mathrm{II}}+2\left(sq^0\right)_{1-5}\Delta q_{\mathrm{III}}=0;\\
&\Delta h_{\mathrm{II}}-2\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{II}}\Delta q_{\mathrm{II}}+2\left(sq^0\right)_{5-3}\Delta q_{\mathrm{I}}+2\left(sq^0\right)_{5-6}\Delta q_{\mathrm{IV}}=0;\\
&\Delta h_{\mathrm{III}}-2\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{III}}\Delta q_{\mathrm{III}}+2\left(sq^0\right)_{1-5}\Delta q_{\mathrm{I}}+2\left(sq^0\right)_{8-5}\Delta q_{\mathrm{IV}}=0;\\
&\Delta h_{\mathrm{IV}}-2\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{IV}}\Delta q_{\mathrm{IV}}+2\left(sq^0\right)_{8-5}\Delta q_{\mathrm{III}}+2\left(sq^0\right)_{5-6}\Delta q_{\mathrm{II}}=0.
\end{aligned}\right\}\qquad(\mathrm{III.5a})$$

Эта система уравнений идентична полученной выше (в общей форме) системе (III.4б) при условии, что в последней неизвестные поправочные расходы в участках Δq_{i-k} выражены через неизвестные увязочные (контурные) расходы в кольцах $(\Delta q)_I$.

Преобразуем эту систему так, чтобы коэффициенты при неизвестных представляли симметричную матрицу. Будем иметь:

$$\left.\begin{aligned}
&\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{I}}\Delta q_{\mathrm{I}}-\left(sq^0\right)_{5-3}\Delta q_{\mathrm{II}}-\left(sq^0\right)_{1-5}\Delta q_{\mathrm{III}}-0=\frac{1}{2}\Delta h_{\mathrm{I}};\\
&-\left(sq^0\right)_{5-3}\Delta q_{\mathrm{I}}+\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{II}}\Delta q_{\mathrm{II}}-0-\left(sq^0\right)_{5-6}\Delta q_{\mathrm{IV}}=\frac{1}{2}\Delta h_{\mathrm{II}};\\
&-\left(sq^0\right)_{1-5}\Delta q_{\mathrm{I}}-0+\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{III}}\Delta q_{\mathrm{III}}-\left(sq^0\right)_{8-5}\Delta q_{\mathrm{IV}}=\frac{1}{2}\Delta h_{\mathrm{III}};\\
&-0-\left(sq^0\right)_{5-6}\Delta q_{\mathrm{II}}-\left(sq^0\right)_{8-5}\Delta q_{\mathrm{III}}+\left(\Sigma sq^0\right)_{\mathrm{IV}}\Delta q_{\mathrm{IV}}=\frac{1}{2}\Delta h_{\mathrm{IV}}.
\end{aligned}\right\}\qquad(\mathrm{III\ 5б})$$

Решив полученную систему линейных уравнений, найдем значения поправок Δq_I к первоначально намеченным значениям расходов q^0_{i-k}.

Исправленные расходы $q_{i-k}=q^0_{i-k}+\Delta q_I$ должны быть введены в основную систему нелинейных уравнений (вида $\Sigma s_{i-k}q^{\beta}_{i-k}=0$) для проверки ее удовлетворения.

Так как при составлении уравнений (III.5б) допущены неточности (пренебрежение нелинейными членами разложения), то, определив Δq_I путем решения системы этих уравнений, мы, вообще говоря, получим отличное от нуля значение невязок. Поэтому процедуру определения Δq_I [из уравнений (III.5б)] обычно приходится повторять для вновь полученных значений Δh_I, т. е. достижение требуемой точности может быть получено путем повторного проведения указанных операций.

Существуют различные приемы практического решения задач увязки сети, ускоряющие этот процесс. Наибольшее распространение в современной практике получил метод увязки кольцевых сетей, предложенный В. Г. Лобачевым и американцем Х. Кроссом. Метод этот сводится к следующему. Если в системе уравнений (III.5б) отбросить все члены, кроме лежащих на главной диагонали матрицы и свободных членов, то для нахождения n неизвестных контурных расходов Δq_I мы получим n независимых уравнений вида:

$$(\Sigma\, s_{i-k}\, q_{i-k})_I\, \Delta q_I = \frac{\Delta h_I}{2}. \qquad \text{(III.6)}$$

Указанная операция фактически привела к устранению взаимного влияния колец сети. Из системы подобных уравнений непосредственно получаются значения Δq_I для всех колец сети. Естественно, что эти значения будут менее точны, чем определенные в результате решения системы (III.5б). Поэтому для получения требуемой точности результатов указанную процедуру определения Δq_I необходимо повторять

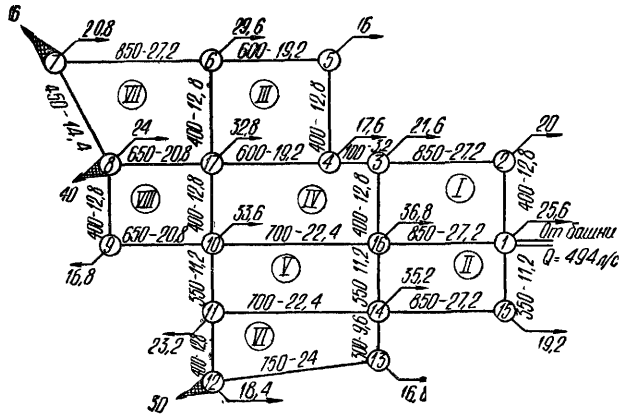


Рис. III.12

большее число раз, т. е. предложенный метод предусматривает выполнение значительно более простых операций для нахождения Δq_I (с меньшей точностью), но вызывает необходимость увеличения числа последовательно применяемых операций.

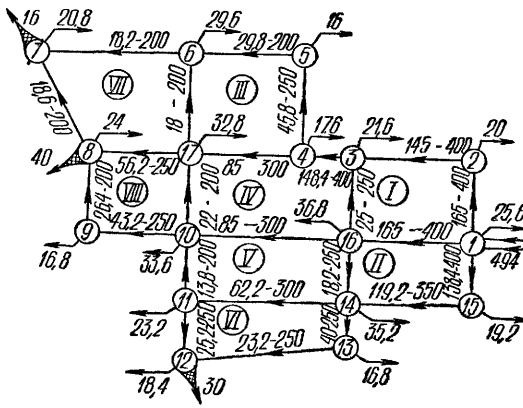


Рис. III.13

Из уравнений (III.6) получается (при $\beta=2$) следующая простая формула для определения величины поправочного (контурного) расхода Δq_I для отдельных (изолированных) колец сети:

$$\Delta q_I = \frac{\Delta h_I}{2\,(\Sigma\, s_{i-k}\, q_{i-k})_I}.$$

При использовании неквадратичных зависимостей потерь напора от расхода получим (в общем виде):

$$\Delta q_I = \frac{\Delta h_I}{\beta \left(\Sigma\, s_{i-k}\, q_{i-k}^{\beta-1}\right)_I}.$$

Рассмотрим применение метода увязки В. Г. Лобачева на примере восьмикольцевой сети, показанной на рис. III.12. В данном случае водонапорная башня расположена в начале сети и поэтому питание сети происходит всегда с одной стороны и при известном начальном напоре. Подача воды от башни в сеть всегда равна сумме узловых отборов

Основным расчетным случаем для такой сети будет момент максимального водопотребления.

Примем максимальный часовой расход воды в рассматриваемой системе 1778 м³, что дает (считая расход в течение часа постоянным) 494 л/с; из них 86 л/с в сумме забирают относительно крупные потребители, расположенные в точках *7*, *8* и *12* (см. цифры у прямых жирных стрелок в указанных узлах).

При одинаковой плотности населения на всей территории города можно считать, что удельный расход одинаков для всех линий и равен

$$q_{\text{уд}} = \frac{Q}{\Sigma l} = \frac{494 - 86}{12750}\ \text{л/с на 1 м} = 0{,}032\ \text{л/с на 1 м},$$

где Σl — суммарная длина сети, равная 12 750 м.

Зная длины участков l (первая цифра около участков на рис. III 12), получаем путевые расходы для каждого из них. $Q_{\text{п}} = q_{\text{уд}} l$, а затем узловые расходы Как было сказано, узловой расход равен полусумме путевых расходов участков, примыкающих к данному узлу. Полученные величины путевых расходов (л/с) выписаны на схеме рис. III.12 (вторая цифра); на этой же схеме у каждого узла показаны величины узловых расходов в л/с (цифры у ломаных стрелок).

После подготовки сети к расчету и получения величин узловых расходов намечают желательное распределение потоков воды по всем линиям сети с учетом требований взаимозаменяемости линий (в случае аварии). При этом, как было сказано, для каждого узла должны удовлетворяться уравнения вида $\Sigma q_{i-k} + Q_i = 0$. В результате получаем расчетные расходы q_{i-k} для каждого участка сети.

Для определения экономически наивыгоднейших диаметров используется таблица предельных экономических расходов при условно принятом значении экономического фактора $Э = 0{,}75$ (см. приложение I).

Как указано в § 18, экономически наивыгоднейшие диаметры должны определяться по «приведенным» расходам. Здесь использован упрощенный способ определения приведенных расходов, изложенный на стр. 62. Кроме того, при назначении диаметров учтены требования надежности сети и роль перемычек при возможных авариях на участках магистралей.

Одновременно с определением диаметра находят также значения скоростей v движения воды (по расчетным, а не по приведенным расходам).

Значения расчетных расходов q_{i-k} (л/с) и диаметров d_{i-k} (мм) нанесены на схему сети, представленную на рис. III.13 (соответственно первая и вторая цифры у каждого участка).

Зная диаметры и длины линий, а также скорости, можно определить сопротивление каждого участка: $s = s_0 \delta_1 l$, где s_0 — удельное сопротивление, определяемое по табл. 1 приложения II*, и δ_1 — поправочный коэффициент, зависящий от скорости v и определяемый по табл. 3 приложения II.

Вычисленные таким образом сопротивления s внесены в графу 8 табл. III.1.

При расчете сопротивления, зависящие не только от a, но и от q (или, что то же, от v), будут несколько меняться при перераспределении расходов в процессе увязки сети. Но так как изменения расходов в большинстве участков сети будут при этом относительно невелики, можно считать сопротивления s неизменными в процессе увязки (внося в конце расчета в случае необходимости соответствующие поправки для отдельных участков, в которых расход в процессе расчета сильно изменится).

Определением сопротивлений участков сети заканчиваются подготовительные операции к собственно гидравлическому ее расчету или увязке сети, т. е. к нахождению действительного распределения расходов воды по сети при уже принятых диаметрах труб и определению потерь напора.

Для увязки сети использован метод Лобачева — Кросса. Результаты расчета за-

---

* Считается, что в проекте приняты чугунные трубы.

носятся в табл. III.1. В таблицу внесены все необходимые данные, соответствующие начальному распределению потоков и показанные на рис. III.13. Далее определяются значения $s_{i-k}\ q_{i-k}$, потери напора $h_{i-k}=s_{i-k}q^2_{i-k}$, невязки в кольцах Δh_I, значения $(\Sigma sq)_I$ и увязочные расходы колец

$$\Delta q_I = \frac{\Delta h_I}{2\,(\Sigma sq)_I}\,.$$

Обычно считают, что невязка в отдельных кольцах не должна превосходить 0,5 м. После II исправления невязка превосходит допустимую в двух (IV и VIII) кольцах. В III исправлении производится увязка только этих колец и вносятся необходимые поправки в смежные с ними кольца. После этого невязка во всех кольцах не превышает допустимую. На этом увязку сети заканчивают. Следует определить также невязку Δh по всему внешнему контуру сети — для оценки возможных неточностей при определении требуемого напора насосов.

Обычно невязка по внешнему контуру сети не должна превышать 1—1,5 м (для сетей средней протяженности). В данном примере невязка по контуру составляет 0,19 м.

В рассмотренном примере башня расположена между насосами и сетью (в начальной точке сети). В этом случае башня «изолирует» сеть от насосов, в результате чего будет наблюдаться совместная работа башни (как водопитателя) и сети, а насосная станция будет работать совместно только с башней. Подача воды в сеть от башни в любой момент равна суммарной величине отборов воды из сети. Изменение суммарного отбора воды из сети не будет сказываться непосредственно на работе насосов.

На режим подачи воды насосами будет оказывать влияние только изменение уровня воды в баке башни (если подающая труба присоединена к дну бака).

При подборе насосов следует учитывать возможный диапазон изменения этого уровня и по характеристике $(Q—H)_н$ находить соответствующие изменения $Q_н$.

Сеть с башней в ее начальной точке может рассматриваться как сеть с одним водопитателем — башней (с изменением начального напора в пределах от $H_{б.\,мин}$ до $H_{б.макс}$).

Если единственным водопитателем является насосная станция (башня отсутствует), то в любой момент подача насоса равна суммарному отбору воды из сети. При этом напор у насоса изменяется с изменением водопотребления и достигает наибольшего значения при прекращении водоразбора.

Ряд весьма полезных приемов увязки кольцевых сетей предложен (1932 г.) и развит инж. М. М. Андрияшевым. Эти приемы получили широкое использование в наших проектных организациях и при «ручных» расчетах сетей позволяют сравнительно быстро достигать требуемых результатов. В основном они сводятся к следующему.

Проводят анализ невязок, полученных в отдельных кольцах сети при первоначально намеченном распределении расходов, и выявляют наиболее перегруженные и наиболее недогруженные ветви. Переброску части расхода с перегруженных ветвей на недогруженные, требуемую для увязки сети, осуществляют путем проведения по отдельным замкнутым контурам увязочных расходов. Для ускорения увязки М. М. Андрияшев рекомендует (в отличие от метода В. Г. Лобачева) проводить увязочные расходы по контурам, охватывающим целые группы колец. При этом для достижения требуемой степени увязки иногда приходится проводить расходы последовательно несколько раз (по различным контурам). Путь увязочного расхода выбирается так, чтобы он шел против направления движения воды в перегруженных участках выбранного контура. Очевидно, что это проведение увязочного расхода по замкну-

Таблица III.1

№ кольца	№ участка	Длина линии l, м	Предварительное распределение воды: q, л/с	d, мм	v, м/с	δ_1	$s=s_0\delta_1 l$	sq	$h=sq^2$, м	I исправление: Δq, л/с	q, л/с	sq	h, м	II исправление: Δq, л/с	q, л/с	sq	h, м	III исправление: Δq, л/с	q, л/с	sq	h, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
I	*1—2*	400	165	400	1,3	1	0,0000876	0,0145	−2,39	−3,2	161,8	0,0142	−2,30	+3,1	164,9	0,0144	−2,37	—	164,9	0,0144	−2,37
	2—3	850	145	400	1,15	1,01	0,000188	0,0280	−4,06	−3,2	141,8	0,0267	−3,79	+3,1	144,9	0,0272	−3,94	—	144,9	0,0272	−3,94
	1—16	850	165	400	1,3	1	0,000186	0,0307	+5,07	+3,2 +6,4	174,6	0,0325	+5,67	−3,1 −1,8	169,7	0,0316	+5,36	—	169,7	0,0316	+5,36
	3—16	400	25	250	0,5	1,15	0,00116	0,0290	+0,72	+3,2 +2,6	30,8	0,0357	+1,10	−3,1 −2,4	25,3	0,0293	+0,74	+1,6	26,9	0,0312	+0,84
								$(\Sigma sq)_I$ = 0,1022	Δh_I = −0,66			$(\Sigma sq)_I$ = 0,1091	Δh_I = +0,68				Δh_I = −0,21				Δh_I = −0,11
								$\Delta q_I = -\frac{-0,66}{2 \cdot 0,1022} = +3,2$				$\Delta q_I = -\frac{0,68}{2 \cdot 0,1091} = -3,1$									
II	*1—16*	850	165	400	1,15	1,01	0,000188	0,0307	−5,07	+6,4 +3,4	174,6	0,0325	−5,67	−1,8 −3,1	169,7	0,0316	−5,36	—	—	—	—
	16—14	350	18,2	250	0,36	1,2	0,00106	0,0193	−0,35	+6,4 +3,4	28	0,0297	−0,83	−1,8 −1,1	25,1	0,0266	−0,67	—	—	—	—
	1—15	350	138,4	400	1,1	1,015	0,0000778	0,0108	+1,49	−6,4	132	0,0103	+1,36	+1,8	133,8	0,0104	+1,38	—	—	—	—
	15—14	850	119,2	350	1,22	1	0,000371	0,0442	+5,27	−6,4	112,8	0,0418	+4,72	+1,8	114,6	0,0425	+4,87	—	—	—	—
								$(\Sigma sq)_{II}$ = 0,1050	Δh_{II} = +1,34			$(\Sigma sq)_I$ = 0,1143	Δh_{II} = −0,42				Δh_{II} = +0,22				
								$\Delta q_{II} = -\frac{+1,34}{2 \cdot 0,1050} = -6,4$				$\Delta q_{II} = -\frac{-0,42}{2 \cdot 0,1143} = +1,8$									
III	*4—5*	400	45,8	250	0,91	1,04	0,00105	0,0481	−2,20	−2,2	43,6	0,0458	−2,00	+1,3	44,9	0,0471	−2,11	—	44,9	0,0471	−2,11
	5—6	600	29,8	200	0,93	1,04	0,00505	0,1505	−4,48	−2,2	27,6	0,1394	−3,85	+1,3	28,9	0,1459	−4,22	—	28,9	0,1459	−4,22
	4—17	600	85	300	1,2	1	0,000569	0,0484	+4,17	+2,2 +2,6	89,8	0,0511	+4,59	−1,3 −2,4	86,1	0,0490	+4,22	+1,6	87,7	0,0501	+4,39
	6—17	400	18	200	0,6	1,11	0,00356	0,0641	+1,15	+2,2 +4,1	24,3	0,0865	+2,10	−1,3 −1,1	21,9	0,0780	+1,71	—	21,9	0,0780	+1,71

									$(\Sigma sq)_{III}=0,3111$ $\Delta h_{III}=-1,36$ $\Delta q_{III}=-\frac{-1,36}{2\cdot0,3111}=+2,2$				$(\Sigma sq)_{III}=0,3228$ $\Delta h_{III}=+0,84$ $\Delta q_{III}=-\frac{+0,84}{2\ 0,3223}=-1,3$				$\Delta h_{III}=-0,40$				$\Delta h_{III}=-0,23$
IV	3—16	400	25	250	0,5	1,10	0,00116	0,0290	−0,72	+2,6 +3,2	30,8	0,0357	−1,10	−2,4 −3,1	25,3	0,0293	−0,74	+1,6	26,9	0,0312	−0,84
	3—4	100	148,4	400	1,2	1	0,0000218	0,0032	−0,47	+2,6	151	0,0033	−0,50	−2,4	148,6	0,0032	−0,48	+1,6	150,2	0,0033	−0,50
	4—17	600	85	300	1,2	1	0,000569	0,0484	−4,17	+2,6 +2,2	89,8	0,0511	−4,59	−2,4 −1,3	86,1	0,0490	−4,22	+1,6	87,7	0,0501	−4,39
	10—16	700	85	300	1,2	1	0,000664	0,0564	+4,79	−2,6 −3,4	79	0,0525	+4,15	+2,4 +1,1	82,5	0,0548	+4,52	−1,6	80,9	0,0537	+4,34
	10—17	400	22	200	0,7	1,085	0,00352	0,0774	+1,70	−2,6 −2,1	17,3	0,0609	+1,05	+2,4 +1,6	21,3	0,0750	+1,60	−1,6 −0,8	18,9	0,0665	+1,25
								$(\Sigma sq)_{IV}=0,2144$ $\Delta h_{IV}=+1,13$ $\Delta q_{IV}=-\frac{+1,13}{2\cdot0,2144}=-2,6$				$(\Sigma sq)_{IV}=0,2035$ $\Delta h_{IV}=-0,99$ $\Delta q_{IV}=-\frac{-0,99}{2\cdot0,2035}=+2,4$				$(\Sigma sq)_{IV}=0,2113$ $\Delta h_{IV}=+0,68$ $\Delta q_{IV}=-\frac{+0,68}{2\ 0,2113}=-1,6$				$\Delta h_{IV}=-0,14$
V	10—16	700	85	300	1,2	1	0,000664	0,0564	−4,79	−3,4 −2,6	79	0,0525	−4,15	+1,1 +2,4	82,5	0,0548	−4,52	−1,6	80,9	0,0537	−4,34
	10—11	350	13,8	200	0,43	1,2	0,0034	0,0469	+0,65	+3,4	17,2	0,0585	+1,01	−1,1	16,1	0,0547	+0,88	—	16,1	0,0547	+0,88
	16—14	350	18,2	250	0,36	1,2	0,00106	0,0193	+0,35	+3,4 +6,4	28	0,0297	+0,83	−1,1 −1,8	25,1	0,0266	+0,67	—	25,1	0,0266	+0,67
	11—14	700	62,2	300	0,86	1,04	0,000691	0,0430	+2,67	+3,4 −3,0	62,6	0,0433	+2,71	−1,1 −1,0	60,5	0,0419	+2,54	—	60,5	0,0419	+2,54
								$(\Sigma sq)_{V}=0,1656$ $\Delta h_{V}=-1,12$ $\Delta q_{V}=-\frac{-1,12}{2\cdot0,1656}=+3,4$				$(\Sigma sq)_{V}=0,1840$ $\Delta h_{V}=+0,40$ $\Delta q_{V}=-\frac{+0,40}{2\cdot0,1840}=-1,1$				$\Delta h_{V}=-0,43$				$\Delta h_{V}=-0,25$
VI	11—14	700	62,2	300	0,86	1,04	0,000691	0,0430	−2,67	−3,0 +3,4	62,6	0,0433	−2,71	−1,0 −1,1	60,5	0,0419	−2,54	—	—	—	—
	11—12	400	25,2	250	0,5	1,15	0,00116	0,0292	−0,74	−3,0	22,2	0,0259	−0,58	−1,0	21,2	0,0247	−0,52	—	—	—	—
	13—14	300	40	250	0,8	1,06	0,000804	0,0322	+1,29	+3,0	43	0,0345	+1,48	+1,0	44,0	0,0353	+1,55	—	—	—	—

Продолжение табл. III.1

№ кольца	№ участка	Длина линии l в м	Предварительное распределение воды: q, л/с	d, мм	v, м/с	δ_i	$s=s_0\delta_i l$	sq	$h=sq^2$, м	I исправление: Δq, л/с	q, л/с	sq	h, м	II исправление: Δq, л/с	q, л/с	sq	h, м	III исправление: Δq, л/с	q, л/с	sq	h, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
VI	*12—13*	750	23,2	250	0,47	1,15	0,00218	0,0506	+1,17	+3,0	26,2	0,0569	+1,49	+1,0	27,2	0,0591	+1,62	—	—	—	—
								$(\Sigma sq)_{VI}=0,1550$	$\Delta h_{VI}=-0,95$			$(\Sigma sq)_{VI}=0,1606$	$\Delta h_{VI}=-0,32$				$\Delta h_{VI}=+0,11$				
								$\Delta q_{VI}=-\frac{-0,95}{2\cdot 0,1550}=+3,0$				$\Delta q_{VI}=-\frac{-0,32}{2\cdot 0,1606}=+1,0$									
VII	*6—17*	400	18	200	0,6	1,11	0,00356	0,0641	−1,15	+4,1 +2,2	24,3	0,0865	−2,10	−1,1 −1,3	21,9	0,0780	−1,71	—	21,9	0,0780	−1,71
	6—7	850	18,2	200	0,56	1,11	0,00765	0,1392	−2,53	+4,1	22,3	0,1706	−3,80	−1,1	21,2	0,1628	−3,45	—	21,2	0,1628	−3,45
	8—17	650	56,2	250	1,11	1,015	0,00168	0,0944	+5,31	−4,1 −2,1	50	0,0840	+4,20	+1,1 +1,6	52,7	0,0885	+4,66	−0,8	51,9	0,0872	+4,53
	7—8	450	18,6	200	0,56	1,11	0,00404	0,0751	+1,40	−4,1	14,5	0,0586	+0,85	+1,1	15,6	0,0630	+0,98	—	15,6	0,0630	+0,98
								$(\Sigma sq)_{VII}=0,3728$	$\Delta h_{VII}=+3,03$			$(\Sigma sq)_{VII}=0,3997$	$\Delta h_{VII}=-0,85$				$\Delta h_{VII}=0,48$				$\Delta h_{VII}=+0,35$
								$\Delta q_{VII}=-\frac{+3,03}{2\cdot 0,3728}=-4,1$				$\Delta q_{VII}=-\frac{-0,85}{2\cdot 0,3997}=+1,1$									
VIII	*10—17*	400	22	200	0,7	1,085	0,00352	0,0774	−1,70	−2,1 −2,6	17,3	0,0609	−1,05	+1,6 +2,4	21,3	0,0750	−1,60	−0,8 −1,6	18,9	0,0665	−1,25
	8—17	650	56,2	250	1,11	1,015	0,00168	0,0944	−5,31	−2,1 −4,1	50	0,0840	−4,20	+1,6 +1,1	52,7	0,0885	−4,66	−0,8	51,9	0,0872	−4,53
	9—10	650	43,2	250	0,86	1,04	0,00171	0,0739	+3,19	+2,1	45,3	0,0775	+3,51	−1,6	43,7	0,0747	+3,26	+0,8	44,5	0,0761	+3,39
	8—9	400	26,4	200	0,81	1,06	0,00343	0,0906	+2,39	+2,1	28,5	0,0978	+2,79	−1,6	26,9	0,0923	+2,48	+0,8	27,7	0,0950	+2,63
								$(\Sigma sq)_{VIII}=0,3363$	$\Delta h_{VIII}=-1,43$			$(\Sigma sq)_{VIII}=0,3202$	$\Delta h_{VIII}=+1,05$			$(\Sigma sq)_{VIII}=0,3305$	$\Delta h_{VIII}=-0,52$				$\Delta h_{VIII}=+0,24$
								$\Delta q_{VIII}=-\frac{-1,43}{2\cdot 0,3363}=+2,1$				$\Delta q_{VIII}=-\frac{+1,05}{2\cdot 0,3202}=-1,6$				$\Delta q_{VIII}=-\frac{-0,52}{2\cdot 0,3305}=+0,8$					

тым контурам не нарушает условий баланса расхода в узлах сети. Насколько удачным оказывается выбор контуров для проведения увязочного расхода, в значительной степени зависит от опытности расчетчиков и их интуиции.

Величины увязочных расходов могут быть определены и по приближенным математическим формулам. Так, для контура, имеющего невязку Δh, М. М. Андрияшев рекомендует определять увязочный расход Δq (при расчете по квадратичным формулам) приближенно из равенства

$$\Delta q = \frac{\Delta h}{2 \Sigma sq},$$

где s — сопротивление[1];

q — расчетные расходы в участках, входящих в рассматриваемый контур.

Ввиду того что в процессе увязки величины Σsq отдельных контуров меняются относительно мало, можно считать, что для каждого рассматриваемого контура при последовательно проводимых увязках (I, II и т. д.)

$$\frac{\Delta q_{\mathrm{I}}}{\Delta h_{\mathrm{I}}} = \frac{\Delta q_{\mathrm{II}}}{\Delta h_{\mathrm{II}}} = \ldots.$$

Поэтому, определив Δh_{I} при пробной увязке с произвольно намеченными увязочными расходами Δq_{I}, в дальнейшем можно пользоваться приведенными соотношениями.

Для контуров, имеющих мало разнящиеся длины и диаметры отдельных участков, увязочный расход предлагается определять по весьма простой формуле:

$$\Delta q = \frac{q_{\mathrm{c}} \Delta h}{2 \Sigma h},$$

где q_{c} — среднее значение расхода для всех входящих в контур участков;

Δh — невязка;

Σh — сумма абсолютных значений потерь напора по контуру.

Ниже приводится расчет по методу Андрияшева той же сети, которая была рассчитана по методу Лобачева (см. рис. III.12 и III.13), при том же начальном распределении расходов.

Всю запись расчета рекомендуется вести непосредственно на расчетных схемах, а вычисления производить при помощи счетной линейки. На схемах рис. III.14 показан пример записи расчета для начального (верхняя строчка) и конечного (нижняя строчка) распределения расходов: первые цифры — расходы в л/с, вторые — потери напора в м; цифры у стрелок внутри колец — величины невязок: начальная у сплошной стрелки и конечная у пунктирной стрелки; цифры в рамках — сопротивления участков. На рис. III.15 показана (для наглядности) схема проведения увязочных расходов для рассмотренного примера расчета. Последовательность проведения увязочных расходов соответствует римским цифрам, показанным у каждого контура; величины увязочных расходов даны в л/с.

Невязки в отдельных кольцах после последнего перераспределения расходов не превышают 0,5 м. Общая невязка по контуру сети составляет 0,25 м.

---

[1] В рассматриваемом далее примере расчета для определения сопротивлений s удельные сопротивления s_0 берутся из табл. 1 приложения II с поправками на скорость из табл. 3

Система с башней в начале сети (пример которой рассматривается) должна быть рассчитана кроме случая максимального часового водопотребления также на случай пожара.

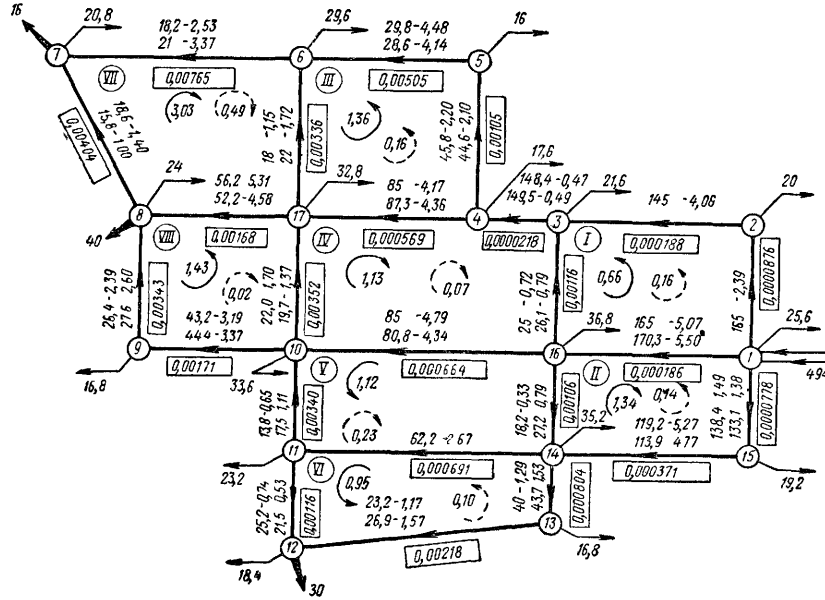


Рис. III.14

Техника расчета сети на пожар (точнее проверка сети на пропуск пожарного расхода при уже намеченных ранее по экономическим соображениям диаметрах) принципиально не отличается от только что разобранного случая. В точку пожара должен быть подан заданный сосредоточенный расход; удельный, путевые, а следовательно, и узловые расходы остаются прежними, так как расчет на пожар ведется для часа максимального водопотребления.

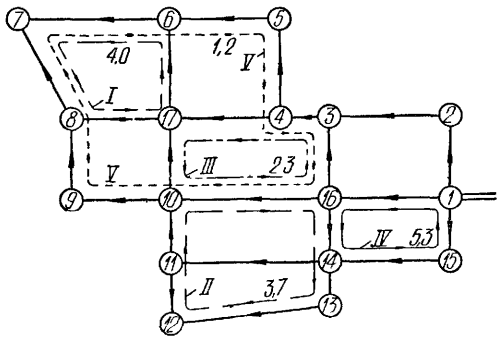


Рис. III.15

Расчет сети на случай пожара является поверочным и имеет целью определить потери напора в сети при пропуске по ней пожарного расхода. Это дает возможность определить необходимый напор пожарных насосов, а также необходимые свободные напоры (т. е. давления) во всех узловых точках сети в часы пожара.

Поверочный гидравлический расчет сети с контррезервуаром при уже выбранных насосах как при наибольшем водопотреблении, т. е. питании от насосов и башни, так и при транзите воды в башню относится к случаям расчета сети при ее совместной работе с двумя водопитателями (в первом случае) или с водопитателем и нефиксированным отбором, каким является башня (во втором случае), — т. е. должен

производиться с использованием методов внешней увязки. Подобные случаи рассматриваются в § 25.

Однако пока не проведен расчет сети, дающий возможность определить потери напора, насосы не могут быть подобраны. Поэтому обычно расчет сети с контррезервуаром включает те же процедуры, что и рассмотренный выше расчет сети с башней в ее начальной точке.

Намечается предварительное распределение расходов (с учетом требований надежности) как для случая наибольшего водопотребления (с определением зон питания сети), так и для случая наибольшего транзита воды в башню. При этом общая подача воды насосами, а также подача воды в башню или из нее определяются по совмещенным графикам водопотребления и подачи воды насосами.

Далее определяются диаметры участков сети (по соображениям экономичности и надежности), производится обычная внутренняя увязка сети и вычисляются потери напора для обоих расчетных случаев.

После этого могут быть определены требуемые напоры насосов и подобраны насосы (по полученным значениям $Q_н$ и $H_н$). В некоторых случаях могут быть использованы насосы, имеющие характеристики $Q—H$, покрывающие весь диапазон полученных из расчета значений $Q_н$ и $H_н$. В остальных случаях приходится использовать в различные периоды суток различные насосы (или группы насосов).

Так как почти всегда каталожные характеристики насосов не обеспечивают полученных из расчета сети сочетаний значений $Q_н$ и $H_н$, необходима проверка их при действительной совместной работе насосов и сети. Действительные значения $Q_н$ и $H_н$, так же как и $\pm Q_б$, могут быть найдены путем одновременной внутренней и внешней увязки методами, изложенными в § 25.

Для относительно крупных систем решение этой задачи без использования вычислительных машин практически невыполнимо. Для малых систем подобные задачи иногда решаются приближенно «вручную» путем последовательных увязок сети и корректировок величин $Q_н$, $H_н$ и $Q_б$.

Особенности начального потокораспределения в сетях с контррезервуаром указаны на стр. 44.

Увязка колец сети может производиться (при ручном расчете) любым методом (Лобачева, Андрияшева и др.).

В процессе увязки граница зоны питания сети может менять свое положение.

Из рассмотренных здесь методов увязки кольцевых сетей метод В. Г. Лобачева имеет то преимущество, что дает четкий порядок расчета, освоив который, даже неопытный расчетчик может вести расчет.

Метод М. М. Андрияшева требует большей инициативы, а следовательно, и большего опыта проектировщика для выбора контуров обхода и их последовательного использования, дающего наиболее быструю увязку сети.

Все сказанное относится к ручным расчетам.

При использовании для расчетов сети вычислительных машин метод Лобачева—Кросса имеет бесспорное преимущество. И в нашей, и в зарубежной практике большинство алгоритмов и программ расчета сетей на ЭЦВМ базируется в настоящее время на этом методе расчета.

§ 25. МЕТОДЫ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЕТОВ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ ИХ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С ВОДОПИТАТЕЛЯМИ И ПРИ НАЛИЧИИ НЕФИКСИРОВАННЫХ ОТБОРОВ

Как было показано ранее, в разветвленных сетях с одним водопитателем и заданными отборами в узлах расходы в участках сети определяются единственно возможным образом: при удовлетворении уравнений $\Sigma q_{i-k}+Q_i=0$ никакой увязки сети не требуется. Это объясняется геометрическим свойством разветвленной сети, в которой между любыми двумя точками имеется один и только один путь. В частном случае,

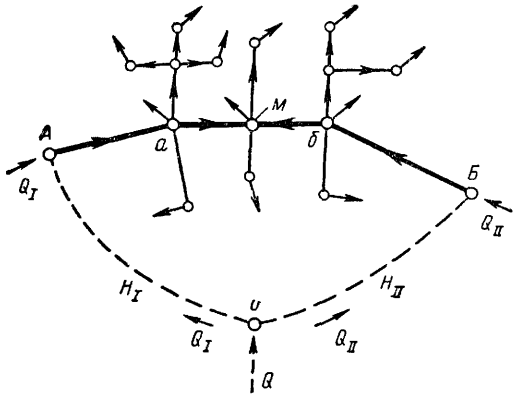


Рис III 16

очевидно, можно сказать, что от точки питания до любой точки сети (до любого отбора) существует только один путь.

Однако если разветвленная сеть получает воду от двух водопитателей с нефиксированной подачей, то положение меняется.

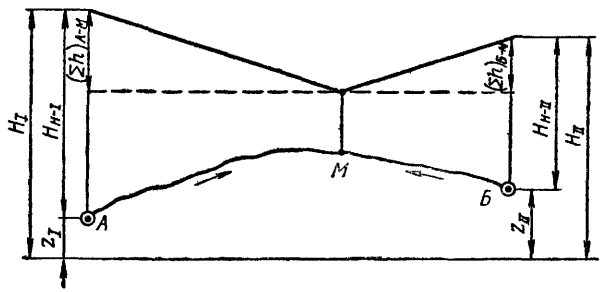


Рис III 17

В цепи участков, соединяющих точки питания A и $Б$ (рис. III 16), расходы не могут быть определены без анализа совместной работы водопитателей и сети (т. е. без «внешней увязки»).

Очевидно, что при питании от двух водопитателей на магистрали $АБ$ образуется где-то точка встречи потоков (предположим, что это будет точка M).

Геометрические свойства самой сети не изменились. В каждом участке ответвлений, примыкающих к магистрали $АБ$, расходы опреде-

ляются единственно возможным образом без всякой увязки в соответствии с величиной отборов в их конечных точках.

Положение изменилось только для магистрали *АБ*, так как в нее «включены параллельно» два водопитателя.

Всякое параллельное включение элементов системы образует некоторое подобие замкнутого контура. В данном случае такой контур может быть представлен путем дополнения сети фиктивным узлом *О* и двумя фиктивными ветвями *ОА* и *ОБ*. Предположим, что в точку *О* подается расход $Q=\Sigma Q_i$. Эта величина, очевидно, равна сумме пока неизвестных подач Q_{I} и Q_{II}.

Если фиктивным линиям придать соответственно значения расходов Q_{I} и Q_{II} и значения напоров H_{I} и H_{II} первого и второго водопитателя и составить для полученного фиктивного кольца (обходя его по часовой стрелке) уравнение второго закона Кирхгофа, получим (см. рис. III.17)

$$H_{\text{I}}-(\Sigma h)_{A-M}+(\Sigma h)_{Б-M}-H_{\text{II}}=0, \qquad \text{(III.7)}$$

или

$$H_{\text{I}}-H_{\text{II}}=(\Sigma h)_{A-M}-(\Sigma h)_{Б-M}, \qquad \text{(III.8)}$$

т. е. обычное уравнение, связывающее между собой пьезометрические отметки двух насосных станций, подающих воду в одну распределительную систему.

Связь между H_{I} и Q_{I}, а также между H_{II} и Q_{II} определяется напорно-расходными характеристиками водопитателей, которые в общем виде могут быть представлены так:

$$H_{\text{I}}=F(Q_{\text{I}}) \text{ и } H_{\text{II}}=\varphi(Q_{\text{II}}).$$

Таким образом, уравнение (III.8) может быть представлено как функция расходов:

$$F(Q_{\text{I}})-\varphi(Q_{\text{II}})=(\Sigma s_{i-k}q_{i-k}^{\beta})_{A-M}-(\Sigma s_{i-k}q_{i-k}^{\beta})_{Б-M}. \qquad \text{(III.8а)}$$

В подобной форме уравнение связи водопитателей было представлено в общем виде в § 23.

Увязка фиктивного кольца производится путем перераспределения расходов на участках магистрали *А—Б* и соответствующего изменения подач Q_{I} и Q_{II}.

Истинные значения всех этих расходов получаются при удовлетворении уравнения (III.8а). Разумеется, контурное уравнение (III.8а) должно решаться совместно с уравнениями $\Sigma q_{i-k}+Q_i=0$ для всех узлов магистрали *АБ* и для фиктивного узла *О*. Последнее уравнение имеет вид:

$$Q_{\text{I}}+Q_{\text{II}}=Q=(\Sigma Q_i)_{\text{сети}}.$$

Тот же путь решения может использоваться для схемы, показанной на рис. III.18, когда сеть имеет один водопитатель (например, в точке *А*) и один нефиксированный отбор (например, в точке *Б*). Роль нефиксированного отбора играет водонапорная башня в периоды ее питания от сети (в моменты транзита воды в башню). Для такого случая на рис. III.18 показаны схема распределения воды в сети и фиктивное кольцо, а на рис. III.19 дано расположение пьезометрических линий.

Если соединить все точки отбора воды некоторой фиктивной линией (пунктир на рис. III.18) с точкой *О*, то мы получим наглядное выражение баланса расходов в узле *О*.

Данная схема подобна схеме действия аналоговой машины для расчета сетей (см. далее § 26).

Контурное уравнение для фиктивного кольца будет:

$$H_{\text{I}} - (\Sigma h_{i-k})_{A-\text{Б}} - H_{\text{II}} = 0.$$

В данном случае $H_{\text{б}} = \text{const}$ и не зависит от $Q_{\text{п}}$.

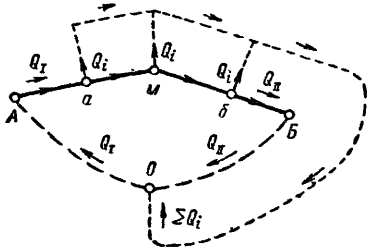


Рис. III.18

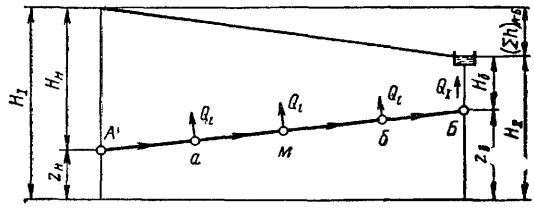


Рис. III.19

Подобное соотношение пьезометрических отметок $H_{\text{н}}$ и $H_{\text{б}}$ показано на рис. III.19 для случая транзита воды в башню.

Таким образом, если в разветвленной сети суммарное число водопитателей и нефиксированных отборов $e > 1$, то в ее расчетную схему добавляется $e-1$ фиктивных колец. Что касается кольцевой сети, то в аналогичном случае (при $e > 1$) к реальным кольцам сети в ее расчетную схему также добавляется $e-1$ фиктивных колец.

Все фиктивные кольца могут быть образованы путем соединения одного фиктивного узла с узлами расположения водопитателей и нефиксированных отборов.

Соответствующая расчетная схема для кольцевой сети с двумя насосными станциями и двумя башнями представлена на рис. III.20.

Для нахождения всех p неизвестных расходов в действительных участках сети и e неизвестных подач водопитателей, т. е. $p+e$ неизвестных, могут быть составлены:

m узловых уравнений (для всех узлов сети)

$$\Sigma q_{i-k} + Q_i = 0;$$

n контурных уравнений для действительных колец

$$\Sigma s_{i-k} q_{i-k}^{\beta} = 0;$$

$e-1$ контурных уравнений для фиктивных колец

$$F(Q) - \varphi(Q) = \Sigma h_{i-k},$$

т. е. всего $m+n+e-1 = p+e$ уравнений. Этих уравнений достаточно для нахождения всех искомых расходов.

Найдя расходы, можно определить потери напора во всех линиях сети. Как было указано ранее, для определения пьезометрических отметок в узлах сети необходимо иметь связь пьезометрической отметки хотя бы одной точки системы с геодезической отметкой той же точки. Это требование выполняется, в частности, если в функции $H_{\text{н}} = F(Q)_{\text{н}}$ в величину $H_{\text{н}}$ введена геодезическая отметка оси насоса.

Следует отметить, что введение в систему фиктивных колец не только является средством для увеличения наглядности взаимосвязей водопитателей, но и устанавливает схему составления расчетных уравнений, необходимых для решения задачи увязки сетей при их совместной работе с водопитателями и нефиксированными отборами.

Подобные схемы широко используются для составления алгоритмов и программ расчета систем подачи и распределения воды на вычислительных машинах.

При ручных расчетах нахождение истинных расходов в системе при совместной работе сети с несколькими водопитателями производится путем последовательного приближения и является весьма трудоемким процессом.

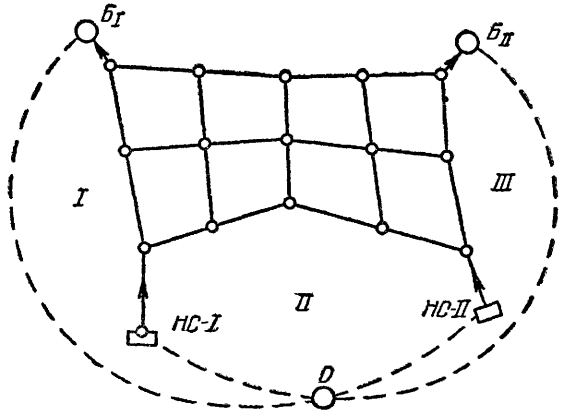


Рис. III.20

Покажем на простейшем примере возможность и путь увязки двухкольцевой сети с водопитателем и нефиксированным отбором (рис. III.21).

Двухкольцевая сеть питается водой от насосной станции *НС* по водоводу из двух параллельных линий диаметром $d=500$ мм и длиной 500 м.

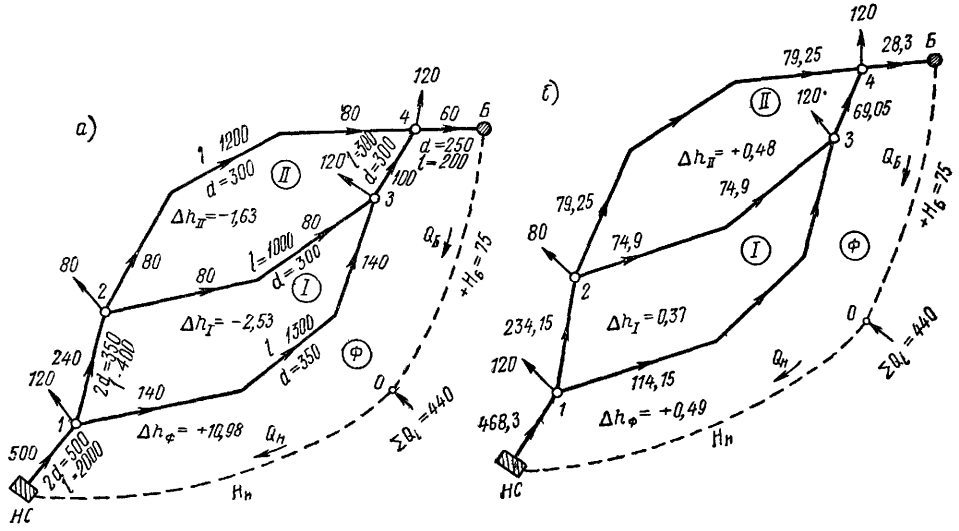


Рис. III.21

На схеме (рис. III.21, *а*) в узлах сети показаны величины заданных фиксированных отборов (в л/с), около каждого участка сети показаны длины линий (в м), первоначальное распределение расходов и принятые величины диаметров.

К точке *4* примыкает водовод, соединяющий сеть с башней *Б*. Таким образом, мы имеем кольцевую сеть с водопитателем *НС* и нефиксированным отбором — башней *Б* для случая транзита воды в нее.

Расчет такой системы при совместной работе насоса, сети и башни может быть произведен аналитическим путем (методом последовательного приближения), если заданы характеристики $Q—H$ водопитателя и нефиксированного отбора. Примем насос марки 14 НДС с частотой вращения 1450 об/мин, характеристика которого может быть выражена уравнением $H_{\text{н}}=107{,}3—0{,}000088\ Q_{\text{н}}^2$ (по В. Г. Ильину); характеристика башни (без учета изменения уровня воды в баке) будет $H=\text{const}$. Пусть $H_{\text{б}}=75$ м (отметка относительно оси насоса).

Задача сводится к совместной увязке сети из двух реальных (I и II) колец и одного фиктивного (Φ) кольца. Согласно изложенному ранее, решению подлежит следующая система уравнений: три уравнения баланса потерь напора в кольцах:

$$(I)\ \ldots\ldots \qquad s_{1-2}\,q_{1-2}^2+s_{2-3}\,q_{2-3}^2-s_{1-3}\,q_{1-3}^2=0;$$

$$(II)\ \ldots\ldots \qquad s_{2-4}\,q_{2-4}^2-s_{3-4}\,q_{3-4}^2-s_{2-3}\,q_{2-3}^2=0;$$

$$(\Phi)\ \ldots\ldots -F(Q_{\text{н}})+s_{HC-1}\,Q_{\text{н}}^2+s_{1-3}\,q_{1-3}^2+s_{3-4}\,q_{3-4}^2+s_{4-\text{Б}}\,q_{4-\text{Б}}^2-H_{\text{б}}=0$$

и семь уравнений баланса расходов в узлах (включая фиктивный узел O).

При этом (как было сказано) $F(Q_{\text{н}})$ в явной форме имеет вид:

$$H_{\text{н}}=107{,}3-0{,}000088\ Q_{\text{н}}^2.$$

После предварительного распределения расходов получаем величины невязок потерь напора в кольцах, показанные на рис. III.21, *а*. По ним с помощью обычных формул определяются величины увязочных расходов и вносятся соответствующие изменения в величины расходов участков, $Q_{\text{б}}$ и $Q_{\text{н}}$.

Произведя последовательно несколько повторных перераспределений, мы получим приемлемые величины невязок (рис. III.21, *б*) и можем считать систему увязанной и в отношении колец сети, и в отношении совместной работы насосов и башни.

Как видно из рассмотренного примера, расчет системы сводится к одновременному проведению внутренней и внешней увязки.

Для реальных систем подачи и распределения воды с многокольцевыми сетями и несколькими водопитателями и нефиксированными отборами проведение подобных расчетов крайне осложняется и, как было сказано, без использования вычислительных машин осуществимо лишь путем длительного повторного приближения.

§ 26. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ РАСЧЕТА СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

Выполнение расчета систем подачи и распределения воды требует проведения, как было показано, весьма большой вычислительной работы. В ряде случаев для нахождения оптимального решения задачи необходимо неоднократно повторять громоздкие операции расчета. Проведение подобной работы обычным «ручным» способом (без применения вычислительных машин) требует огромной затраты труда и времени. Расчет систем водоснабжения в требуемом объеме становится практически осуществимым при использовании вычислительной техники. В настоящее время в отечественной и зарубежной практике вычислительные машины все в большей мере привлекаются для проведения этих расчетов.

Используются вычислительные устройства двух основных типов: специализированные аналоговые машины (или устройства) и универ-

сальные электронные цифровые вычислительные машины — ЭЦВМ (машины дискретного действия).

Аналоговые машины (или устройства) основаны на использовании аналогии исследуемого процесса с другим процессом, для которого проще осуществить установку, имитирующую исследуемую систему. На этой установке, представляющей собой своеобразную модель, можно легко имитировать процессы, протекающие в исследуемой (рассчитываемой) системе, и замерять их основные параметры.

В области решения гидравлических задач наибольшее распространение получили аналоговые машины, основанные на аналогии движения воды и электрического тока.

Подобные аналоговые устройства представляют собой электромодель, и самый метод расчета получил название «электромоделирования».

Принцип электрогидродинамической аналогии (ЭГДА) был предложен акад. Н. Н. Павловским и успешно применен для исследования законов и путей фильтрации воды под основаниями гидротехнических сооружений.

Одна из первых попыток использования аналогового устройства для анализа и расчета водопроводных сетей осуществлена профессорами Массачусетского университета Кэмпом и Хезеном в середине 30-х годов. В этой установке регулирование электрических сопротивлений производилось вручную, на что затрачивалось много времени. Авторы использовали свою электромодель для внутренней увязки кольцевой сети.

В строгом смысле слова аналоговые устройства не являются моделью, как это понимается в теории моделирования.

В СССР исследования по электромоделированию расчета водопроводных сетей были начаты в 1936 г. в институте ВОДГЕО, где были разработаны и испробованы несколько вариантов принципа действия и конструкций аналоговой установки. После войны, в конце 40-х годов, эти работы привели к созданию аналоговой машины с использованием автоматических сопротивлений.

В настоящее время специализированные аналоговые устройства различных типов широко используются для проведения всех необходимых расчетов при проектировании систем подачи и распределения воды.

Для воспроизведения процесса, происходящего в системе водоснабжения, на ее электрической модели необходимо прежде всего, чтобы элементы модели имели электрические характеристики, аналогичные гидравлическим характеристикам элементов системы. Такими элементами являются участки сети (трубопроводы), водопитатели (насосы и резервуары), а также фиксированные и нефиксированные отборы воды из сети.

Сила тока I и падение потенциала ΔU в электрической модели аналогичны соответственно расходу воды Q и потерям напора h.

Одним из основных затруднений при электромоделировании гидравлических систем является то, что падение потенциала и сила тока в электрических проводниках связано линейной зависимостью, тогда как потери напора в линиях водопроводной сети связаны с расходом нелинейно.

Электрическая характеристика проводника

$$\Delta U = rI, \tag{III.9}$$

а гидравлическая характеристика участка водопроводной сети

$$h = sQ^{\beta}, \tag{III.10}$$

где r — электрическое сопротивление проводника;

s — гидравлическое сопротивление участка сети.

При режимах движения, практически используемых в водопроводных сетях, показатель β имеет величину, изменяющуюся в пределах от 1,85 до 2.

Таким образом, для того чтобы электрическая модель трубопровода воспроизводила закон гидравлического сопротивления, необходимо соблюдение равенства $r=sI^{\beta-1}$, т. е. сопротивление участка в модели должно изменяться пропорционально силе тока в степени β—1. Тогда получим

$$\Delta U = sI^{\beta-1}\, I = sI^{\beta}.$$

В частности, для квадратичной зоны сопротивлений в водопроводной сети

$$\Delta U = sI^2.$$

Электрические сопротивления, автоматически изменяющиеся в определенной зависимости от силы проходящего через них тока, могут быть сконструированы различным образом. В машине ВНИИ ВОДГЕО использованы нелинейные электромеханические автоматы. В американской машине (Мак-Илроя) применяются специальные лампы накаливания, обеспечивающие требуемую зависимость ΔU от I. В аналоговом устройстве Академии коммунального хозяйства и в английской машине «Ванда» для тех же целей используется метод «линейно-кусочной аппроксимации», при котором кривая, выражающая зависимость ΔU от I, заменяется ломаной линией; на отдельных ее участках (для элементов системы) $\Delta U=sI$ при различных значениях s.

Фиксированные отборы воды из водопроводной сети отображаются на электрической модели отборами тока постоянной силы, не зависящими от изменения напряжения в сети. Такая стабилизация отборов тока модели осуществляется ламповыми или полупроводниковыми стабилизаторами тока, устанавливаемыми в соответствующих узлах (точках) модели.

Аналоговое устройство должно содержать такой набор аналогов водопроводных линий, который позволяет составлять схему сети для всех практически используемых стандартных диаметров и настраиваться на любую заданную длину.

Электрическая схема, набираемая из аналогов отдельных линий, должна быть геометрически подобна изображаемой водопроводной сети.

Простейшей задачей, решаемой на электромодели, является нахождение распределения расходов воды по сети с заданными сопротивлениями участков, заданными отборами в узлах и водопитателем с постоянным напором. Таким водопитателем в системе водоснабжения является напорный резервуар с постоянным уровнем. Его аналогом в электрической модели может служить источник постоянного тока с неизменным напряжением. Схема такой водопроводной сети приведена на рис. III.22, а схема ее электрической модели — на рис. III.23 (здесь R_{i-k} — аналоги сопротивлений участков и r_i — стабилизаторы отбора тока в узлах).

Очевидно, что для обеих представленных схем соблюдается полная аналогия в описании законов увязки сети, т. е. первого и второго законов Кирхгофа. Для электрической модели мы имеем $\Sigma\Delta U=0$ для каждого кольца сети и $\Sigma i+I=0$ для каждого узла сети, где i — сила тока в отдельных участках сети, примыкающих к узлу, и I — сила тока, отбираемого в узле.

После подключения к сети источника питания значения силы тока

и падения потенциала на отдельных участках и моделируемые ими значения расходов и потерь напора могут быть получены непосредственно по показаниям электрических измерительных приборов (миллиамперметров и вольтметров).

На аналоговых машинах могут решаться и значительно более сложные задачи по расчету систем подачи и распределения воды с учетом совместной работы сетей, водопитателей (любого типа) и нефиксированных отборов.

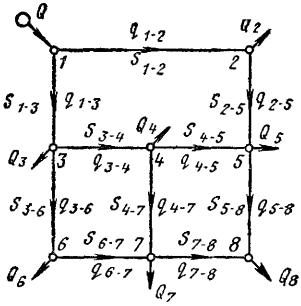


Рис. III.22

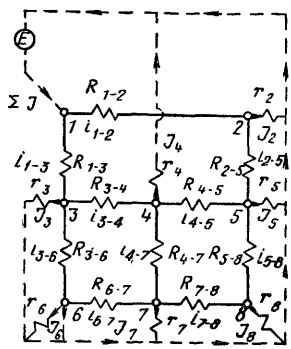


Рис. III.23

Электронные цифровые вычислительные машины получили весьма широкое применение; они являются универсальными вычислительными машинами, которые могут выполнять громадное количество элементарных операций в единицу времени и решать таким образом различные задачи.

Основными характеристиками различных ЭЦВМ являются их «быстродействие», т. е. количество операций, которые они могут выполнять в единицу времени, и объем их памяти (запоминающего устройства), т. е. объем (количество) численных данных информации, которые каждая машина может принять одновременно. Современные машины могут выполнять десятки и сотни тысяч операций в секунду.

ЭЦВМ уже широко применяют для проведения расчетов систем подачи и распределения воды. На них можно решать все те же задачи, что и на аналоговых машинах.

Для возможности использования ЭЦВМ необходимо составление программ для каждого типа задач. Программа представляет собой перечень операций и команд, определяющих последовательность проведения этих операций машиной. Программа в специально закодированном виде должна быть введена в память машины. Кроме того, машине должна быть передана (также специально закодированная) вся требуемая информация о рассчитываемой системе. Одна и та же программа может быть использована для решения однотипных задач при различных численных исходных данных и разных характеристиках отдельных элементов системы.

В настоящее время разработаны и используются программы для проведения всех основных видов расчета систем подачи и распределения воды, как поверочных, так и технико-экономических.

Использование различных счетно-решающих устройств для расчета водопроводных систем является исключительно перспективным.

Быстро выполняя громадную работу по проведению чисто вычислительных операций, машина экономит время проектировщика и позволя-

ет ему сосредоточить свои силы и внимание на творческих задачах проектирования, выборе наиболее современных технических и наиболее экономичных решений.

Глава 7

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И МЕТОДЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

§ 27. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

При поверочных расчетах сетей диаметры участков сети определялись по приближенным формулам (§ 18) и по расходам, намеченным при начальном потокораспределении с учетом требований надежности. Гидравлический (поверочный) расчет сети производился при уже известных (принятых) величинах диаметров и имел целью определить истинное значение расходов в участках сети.

В наиболее общем виде задача расчета систем подачи и распределения воды может быть сформулирована как задача о нахождении такого распределения расходов и таких диаметров, которые обеспечивали бы наибольшую экономичность самой сети и связанных с ней сооружений по подаче и аккумулированию воды (т. е. насосных станций и напорных регулирующих емкостей). При этом, разумеется, должны также удовлетворяться требования надежности.

Экономичность системы оценивается по величине приведенных затрат (W) на ее строительство и эксплуатацию.

Если выразить величину W в функции расходов и диаметров участков, то, очевидно, те расходы и диаметры будут экономически наивыгоднейшими, при которых W будет иметь наименьшее значение.

В отличие от поверочных расчетов сетей, когда диаметры были уже назначены, при полном технико-экономическом расчете неизвестными будут как расходы, так и диаметры.

Общее число неизвестных расходов в рассчитываемой системе, имеющей p участков и e подач водопитателей и нефиксированных отборов, составит $p+e$. Число неизвестных диаметров равно p. Следовательно, общее число неизвестных составляет $2p+e$.

Если расходы и диаметры будут найдены каким-либо способом, то все потери напора и все пьезометрические отметки в узлах сети и в узлах расположения водопитателей могут быть определены единственно возможным образом.

Величины q_{i-k} и d_{i-k} в данной задаче в общем виде являются несвязанными между собой (так как выражения диаметров через расходы пока неизвестны). Для нахождения указанных $2p+e$ неизвестных могут быть использованы:

m узловых уравнений

$$\Sigma q_{i-k} + Q_i = 0;$$

n контурных уравнений для n колец (реальных)

$$\Sigma h_{i-k} = 0 \text{ или } \Sigma k \frac{l_{i-k}}{d^m_{i-k}} q^{\beta}_{i-k} = 0;$$

$e-1$ уравнений связи для e водопитателей

$$F(Q)_I - \varphi(Q)_K = \left(\Sigma sq^{\beta}\right)_{I-K} = \left(\Sigma h\right)_{I-K},$$

т. е. всего $(m+n-1)+e=p+e$ уравнений.

Таким образом, для нахождения всех неизвестных p диаметров и $p+e$ расходов недостает p уравнений. Эти уравнения могут быть получены исходя из удовлетворения условий экономичности, т. е. исходя из условий получения минимальной величины приведенных затрат по системе W. Они имеют вид

$$\frac{\partial W}{\partial q_{i-k}} = 0 \text{ или } \frac{\partial W}{\partial d_{i-k}} = 0.$$

Число этих уравнений при удовлетворении условий гидравлических связей будет в сумме равно p.

§ 28. ВИД ФУНКЦИИ СТОИМОСТИ И ЕЕ АНАЛИЗ

Для простейшей системы, представленной на рис. III.24, приведенные затраты W за некоторый срок t будут иметь следующее выражение:

$$W = (p_1 + E) \sum_{\text{сети}} \left(a + bd_{i-k}^{\alpha}\right) l_{i-k} + P\left(H_0 + \sum_{\text{напр}} h_{i-k}\right) Q. \qquad \text{(III.11)}$$

Здесь $a+bd_{i-k}^{\alpha}$ — эмпирическая формула, используемая обычно для определения строительной стоимости водопроводных линий, отнесенной к единице длины (величины a и b, получаемые в результате обработки сметных данных, зависят от материала труб, глубины их укладки, характера грунтов и их водоносности); d_{i-k} и l_{i-k} — диаметр и длина линии; p_1 — нормативный процент ежегодных отчислений на амортизацию и ремонт со строительной стоимости сети и водоводов; $E=1/t$, где t — нормативный расчетный срок (срок окупаемости капиталовложений).

Таким образом, первый член выражения (III.11) представляет собой полную величину ежегодных отчислений со строительной стоимости сетей и водоводов.

Второй член — это основные эксплуатационные затраты, связанные с подачей воды (стоимость расходуемой энергии). Здесь H_0 — геометрическая высота подъема воды насосами в м (см. рис. III.24); Σh_{i-k} — сумма потерь напора (в м) в водоводе и в любой магистрали сети, соединяющей ее начальную точку с конечной; Q — полный расчетный расход воды, подаваемой в систему, в л/с.

Величина

$$P = \frac{(p_2 + E) fr + 365 \cdot 24\, \sigma\gamma}{102\, \eta},$$

где p_2 — нормативный процент ежегодных отчислений со строительной стоимости насосной станции;

f — стоимость строительства станции, отнесенная на единицу установленной мощности;

r — коэффициент резерва насосного оборудования;

σ — стоимость 1 квт·ч электроэнергии, потребляемой для подъема воды;

γ — коэффициент неравномерности расходования энергии на подъем воды в течение расчетного периода;

η — общий коэффициент полезного действия насосной станции.

Все величины, входящие в выражение W, кроме d_{i-k} и h_{i-k}, принимаются для расчета как заданные.

Следует отметить, что значения диаметров, которые могут быть фактически использованы, представляют собой дискретный ряд величин

(предусматриваемый сортаментом труб), так же как и характеристики насосов $H=\varphi(Q)$.

Из трех величин q_{i-k}, d_{i-k} и h_{i-k} для каждого участка сети независимыми переменными являются только две.

При анализе величины W удобнее ее выражать в функции расходов и потерь напора; для этого диаметры d_{i-k} надо выразить через потери напора:

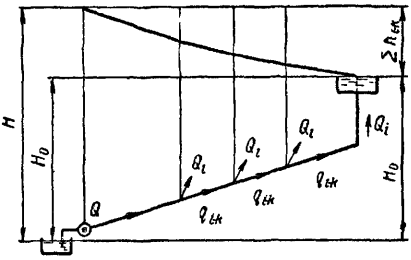
$$d_{i-k}=\left(k\frac{q_{i-k}^{\beta}}{h_{i-k}}\,l_{i-k}\right)^{1/m}.$$

Принимая в дальнейших расчетах $\beta=2$, получим

$$W=(p_1+E)\sum_{\text{сети}}\left(a+bk^{\alpha/m}q_{i-k}^{2\alpha/m}h_{i-k}^{-\alpha/m}l_{i-k}^{\alpha/m}\right)l_{i-k}+P\left(H_0+\sum_{\text{напр}}h_{i-k}\right)Q. \qquad \text{(III.12)}$$

Первая сумма распространяется на все участки сети, вторая — на участки одного из возможных путей, соединяющего насосную станцию с конечной точкой сети.

Искомые величины q_{i-k} и h_{i-k} должны, как было сказано, соответствовать наименьшему значению функции W. Очевидно, необходимо исследовать экстремальные значения функции W, определить их характер и попытаться найти соответствующие значения q_{i-k} и h_{i-k} (а следовательно, и d_{i-k}).



← Рис. III.24

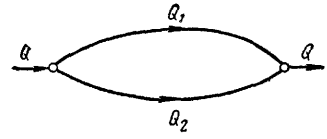


Рис. III.25

Так как расходы и потери напора в сетях связаны соответственно первым и вторым законами Кирхгофа, задача состоит в определении условного экстремума функции W при соблюдении уравнений $\Sigma q_{i-k}+Q_i=0$ для всех узлов и $\Sigma h_{i-k}=0$ для всех колец сети.

Подобная задача может быть, как известно, решена с использованием неопределенных множителей Лагранжа путем нахождения экстремального значения некоторой функции

$$\psi=W+\Sigma\lambda_i\left(\Sigma q_{i-k}+Q_i\right)+\Sigma\lambda_I\,\Sigma h_{i-k}.$$

В результате дифференцирования ψ по q_{i-k} и по h_{i-k}, приравнивания нулю частных производных $\partial\psi/\partial q_{i-k}$ и $\partial\psi/\partial h_{i-k}$ и исключения неопределенных множителей, получим две группы уравнений:

n уравнений вида

$$\frac{\partial\psi}{\partial q_{i-k}}=0$$

и $m-1$ уравнений вида

$$\frac{\partial\psi}{\partial h_{i-k}}=$$

Таким образом, формально мы получим недостающие $n+m-1=p$ уравнений.

Однако анализ вторых дифференциалов функции W (по q_{i-k} и h_{i-k}) показывает, что при всех практически встречающихся значениях α и m величина $\partial^2 W/\partial h_{i-k}^2$ всегда положительна, а величина $\partial^2 W/\partial q_{i-k}^2$ всегда отрицательна.

Следовательно, функция W является выпукло-вогнутой и не имеет экстремума.

Таким образом, нахождение одновременно оптимальных значений расходов и оптимальных значений потерь напора неосуществимо.

Если задаться значениями расходов воды в участках сети q_{i-k}, то экстремальное значение функции W может быть найдено; функция W оказывается выпуклой, и величины потерь напора (а следовательно, и диаметров при заданных расходах) получаются из уравнений $\partial W/\partial h_{i-k}$ и соответствуют наименьшей величине W, т. е. являются наивыгоднейшими.

Если же задаться значениями потерь напора, то функция W будет вогнутой, и получаемые из уравнений $\partial W/\partial q_{i-k}=0$ расходы соответствуют наибольшему значению функции W и, следовательно, являются наиневыгоднейшими.

Задача определения наивыгоднейших расходов в участках кольцевой сети сводится фактически к попытке нахождения наивыгоднейшего распределения потоков воды. Но, как мы видели, экстремальное значение $W=F(q_{i-k})$ соответствует не минимуму, а максимуму W.

Наглядной иллюстрацией этого может служить попытка отыскания наивыгоднейшего распределения общего расхода Q по ветвям кольца с одинаковыми длинами ветвей (рис. III.25). Анализ функции W для такого кольца показывает, что экстремальному (наибольшему) значению W соответствует распределение расхода Q поровну между двумя ветвями кольца. Наименьшее значение W будет при таком распределении, когда весь расход Q пойдет по одной из ветвей кольца, т. е. при $Q_1=Q$ и $Q_2=0$. В этом случае необходимость во второй ветви отпадает и кольцо превращается в одну линию.

Анализ распределения потоков по ветвям любой кольцевой сети показывает, что наивыгоднейшим будет такое распределение потоков, при котором кольцевая сеть превращается в дерево. Этим подтверждается положение, что кольцевая сеть по сравнению с разветвленной всегда будет менее экономична (для обеспечения водой заданных потребителей). Кольцевание сетей есть мера по повышению надежности сети и, естественно, вызывает дополнительные затраты.

Задавать начальное потокораспределение (см. § 22) необходимо исходя из требований надежности. Если это требование удовлетворено, то соответствующее потокораспределение может быть принято как заданное для определения наивыгоднейших диаметров.

§ 29. МЕТОДЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СЕТЕЙ ПРИ ЗАДАННЫХ ЗНАЧЕНИЯХ РАСХОДОВ ВОДЫ В ЛИНИЯХ СЕТИ

При заданных значениях расходов в участках сети неизвестными являются значения диаметров d_{i-k} или потерь напора h_{i-k}.

Практически, как было сказано, удобнее искать значения h_{i-k}, после чего однозначно определяются и соответствующие диаметры d_{i-k}.

Необходимая для этого система уравнений получается в результате дифференцирования функции стоимости W по h_{i-k}, т. е. из системы уравнений вида $\partial W/\partial h_{i-k}=0$.

В развернутом виде (например, для сети, указанной на рис. III.26) эта система имеет вид:

$$\left.\begin{aligned}
&a_{1-2}h_{1-2}^{-\frac{\alpha+m}{m}} + a_{1-6}h_{1-6}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - AQ = 0;\\
&a_{1-2}h_{1-2}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{2-3}h_{2-3}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{2-5}h_{2-5}^{-\frac{\alpha+m}{m}} = 0;\\
&a_{2-3}h_{2-3}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{3-4}h_{3-4}^{-\frac{\alpha+m}{m}} = 0;\\
&a_{3-4}h_{3-4}^{-\frac{\alpha+m}{m}} + a_{4-5}h_{4-5}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{4-9}h_{4-9}^{-\frac{\alpha+m}{m}} = 0;\\
&a_{2-5}h_{2-5}^{-\frac{\alpha+m}{m}} + a_{5-6}h_{5-6}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{4-5}h_{4-5}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{5-8}h_{5-8}^{-\frac{\alpha+m}{m}} = 0;\\
&a_{1-6}h_{1-6}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{5-6}h_{5-6}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{6-7}h_{6-7}^{-\frac{\alpha+m}{m}} = 0;\\
&a_{6-7}h_{6-7}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{7-8}h_{7-8}^{-\frac{\alpha+m}{m}} = 0;\\
&a_{5-8}h_{5-8}^{-\frac{\alpha+m}{m}} + a_{7-8}h_{7-8}^{-\frac{\alpha+m}{m}} - a_{8-9}h_{8-9}^{-\frac{\alpha+m}{m}} = 0.
\end{aligned}\right\} \quad \text{(III.13)}$$

В системе этих уравнений (число их равно числу узлов сети без одного) содержатся однотипные члены вида $a_{i-k}h_{i-k}^{-\frac{\alpha+m}{m}}$, где $a_{i-k} = q_{i-k}^{\frac{2\alpha}{m}} \times l_{i-k}^{\frac{\alpha+m}{m}}$.

Для всех узлов, кроме начального *1*, эти выражения удовлетворяют условию, аналогичному условию баланса расходов в узлах сети. Для начального узла сети уравнение выражает равенство величин $a_{i-k}h_{i-k}^{-\frac{\alpha+m}{m}}$ для участков, отходящих от узла *1*, величине AQ, где Q — полный расход воды, подаваемой в сеть (здесь — при одном водопитателе — этот расход также известен); величина

$$A = \frac{P}{(p_1 + E)\, bk^{\alpha/m}}.$$

Значения всех величин, входящих в P, приведены в § 28.

Подобная система $m-1$ нелинейных уравнений *с* $m-1$ неизвестными h_{i-k} может быть решена любым из существующих для этого методов.

Относительно простой способ решения этой задачи предложен проф. Л. Ф. Мошниным.

Если разделить все уравнения системы (III.13) на A и обозначить выражение $a_{i-k}h_{i-k}^{-\frac{\alpha+m}{m}}/A$ через $x_{i-k}Q$ (т. е. в частях полного расхода Q), то указанная система уравнений примет вид:

$$\begin{aligned}
x_{1-2}Q + x_{1-6}Q &= Q;\\
x_{1-2}Q - x_{2-3}Q - x_{2-5}Q &= 0;\\
x_{2-3}Q - x_{3-4}Q &= 0;\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots
\end{aligned}$$

Разделив, наконец, все эти уравнения на Q, получим $m-1$ уравнений, связывающих величины x_{i-k}:

$$\left.\begin{aligned}
&x_{1-2} + x_{1-6} = 1;\\
&x_{1-2} - x_{2-3} - x_{2-5} = 0;\\
&x_{2-3} - x_{3-4} = 0;\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots
\end{aligned}\right\} \quad \text{(III.14)}$$

Нетрудно видеть, что величины x_{i-k} аналогичны некоторым (фиктивным) расходам, полученным при распределении по участкам сети расхода, равного единице, пропускаемого транзитом через сеть.

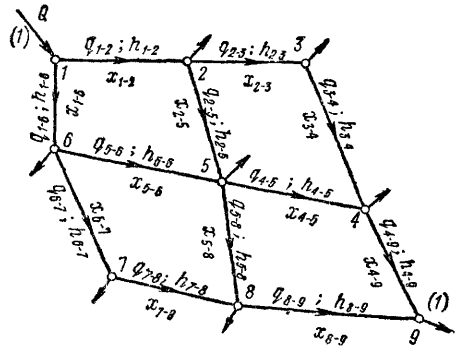


Рис. III.26

Так как

$$x_{i-k}=\frac{a_{i-k}\,h_{i-k}^{-\frac{\alpha+m}{m}}}{AQ}=\frac{q_{i-k}^{\frac{2\alpha}{m}}\,l_{i-k}^{\frac{\alpha+m}{m}}\,h_{i-k}^{-\frac{\alpha+m}{m}}}{AQ},$$

то отсюда

$$h_{i-k}=\frac{q_{i-k}^{\frac{2\alpha}{\alpha+m}}\,l_{i-k}}{(AQ)^{\frac{m}{\alpha+m}}}\,x_{i-k}^{-\frac{m}{\alpha+m}}. \qquad \text{(III.15)}$$

Для каждого кольца сети $\Sigma h_{i-k}=0$; знаменатель выражения (III.15) есть величина постоянная, следовательно, для каждого кольца

$$\Sigma q_{i-k}^{\frac{2\alpha}{\alpha+m}}\,l_{i-k}\,x_{i-k}^{-\frac{m}{\alpha+m}}=0. \qquad \text{(III.16)}$$

Система уравнений (III.16) для всех колец сети представляет собой систему контурных уравнений увязки колец сети по фиктивным расходам x_{i-k}, а выражение $q_{i-k}^{\frac{2\alpha}{\alpha+m}}\,l_{i-k}$, аналогичное гидравлическим сопротивлениям, называется фиктивным сопротивлением и обозначается $\phi^{i}{}_{-k}$.

Тогда величины $s_{\Phi i-k}\,x_{i-k}^{-\frac{m}{\alpha+m}}$ представляют собой фиктивные потери напора в участках сети $h_{\Phi i-k}$.

Нетрудно видеть, что величины $h_{\Phi i-k}$ в $(AQ)^{\frac{m}{\alpha+m}}$ раз больше действительных потерь напора h_{i-k} в соответствующих участках.

С помощью формулы (III.15) получим такое выражение для экономически наивыгоднейшего диаметра сети

$$d_{i-k}=\left(k\frac{q_{i-k}^2\,l_{i-k}}{h_{i-k}}\right)^{1/m}=\left(Ak^{\frac{\alpha+m}{m}}\right)^{\frac{1}{\alpha+m}}Q^{\frac{1}{\alpha+m}}\,x_{i-k}^{\frac{1}{\alpha+m}}\,q_{i-k}^{\frac{2}{\alpha+m}}.$$

Если обозначить $Ak^{\frac{\alpha+m}{m}}$ через Θ, то экономически наивыгоднейший диаметр участка любой сети будет:

$$d_{i-k} = \Theta^{\frac{1}{\alpha+m}} Q^{\frac{1}{\alpha+m}} x_{i-k}^{\frac{1}{\alpha+m}} q_{i-k}^{\frac{2}{\alpha+m}}, \qquad \text{(III.17)}$$

или

$$d_{i-k} = \left(\Theta \frac{Q}{q_{i-k}} x_{i-k}\right)^{\frac{1}{\alpha+m}} q_{i-k}^{\frac{3}{\alpha+m}}. \qquad \text{(III.17а)}$$

Величина Θ — экономический фактор, содержащий показатели, указанные на стр. 61.

Если провести через сеть фиктивный расход, равный единице, и увязать сеть по фиктивным расходам x_{i-k} (составляющим доли этой единицы), удовлетворяя уравнениям (III.14) и (III.16), то полученные в результате увязки значения x_{i-k} могут быть подставлены в общую формулу (III.17а) экономически наивыгоднейшего диаметра участка сети.

Все остальные величины, стоящие в этой формуле, известны (Q), вычислены для данных экономических условий (Θ) или заданы при первоначальном потокораспределении (q_{i-k}).

Для водовода с несколькими последовательно расположенными отборами воды по его длине экономически наивыгоднейший диаметр

$$d_{i-k} = \Theta^{\frac{1}{\alpha+m}} Q^{\frac{1}{\alpha+m}} q_{i-k}^{\frac{2}{\alpha+m}},$$

т. е. для всех участков здесь $x_{i-k}=1$.

И, наконец, для независимо работающей линии этот диаметр

$$d = \Theta^{\frac{1}{\alpha+m}} Q^{\frac{3}{\alpha+m}}, \qquad \text{(III.18)}$$

т. е. выражается формулой, которая была приведена выше (см. § 18) для приближенного определения экономически наивыгоднейших диаметров участков сети.

Для сетей с несколькими водопитателями, для разветвленных сетей с различными пьезометрическими отметками в концевых точках, для кольцевых сетей с несколькими концевыми точками схода потоков также возможен полный технико-экономический расчет с применением изложенных методов, но при использовании некоторых дополнительных приемов (см. литературу, указанную в списке в конце раздела).

В приведенных формулах расчетные расходы (и в том числе полный расход Q) принимались постоянными. В действительности они будут изменяться в соответствии с режимом водопотребления так же, как и количество энергии, затрачиваемой на подъем воды.

При проведении технико-экономических расчетов учет колебаний расходования энергии и связанных с этим затрат на подъем воды имеет существенное значение.

Очевидно, что экономически наивыгоднейшими будут те диаметры, при которых величина приведенных затрат будет наименьшей не для какого-либо расчетного момента, а за определенный расчетный период. Расходы энергии необходимо интегрировать за этот промежуток времени и определять их полную стоимость.

В изложенных выше методах расчета мы рассматривали работу системы в определенный расчетный момент, а колебание расхода энергии за расчетный период учитывали коэффициентом γ. Этот коэффициент зависит от коэффициентов неравномерности водопотребления (как циклических — в течение суток года, так и отражающих постепенный рост водопотребления — в течение расчетного периода), а также от режима работы насосной станции.

Из формулы (III.18) видно, что каждому заданному расходу (при определенном значении экономического фактора $Э$) будет соответствовать определенное значение экономически наивыгоднейшего диаметра $d_{эк}$. Как было указано ранее, мы вынуждены вместо $d_{эк}$ принимать ближайший стандартный диаметр.

Очевидно, могут быть найдены такие значения расходов, при которых соседние стандартные диаметры окажутся равноценными по экономическим показателям, т. е. дадут одинаковые приведенные затраты. Значения таких пограничных (предельных) расходов определяют пределы экономичного использования стандартных диаметров (см. приложение I).

Если, пользуясь таблицами предельных экономических расходов, мы хотим найти наивыгоднейший диаметр любой линии сети (а не независимо работающей линии) и при любом (отличном от табличного) значении экономического фактора $Э$, то в формулу (III.18) следует вводить так называемый «приведенный расход»

$$q'_{i-k} = \left(\frac{Э}{Э_{табл}} \cdot \frac{Qx_{i-k}}{q_{i-k}}\right)^{\frac{1}{3}} q_{i-k},$$

где $Э$ — заданное значение экономического фактора;
Q — полный расход воды, подаваемой в сеть;
x_{i-k} — фиктивный расход в участке;
q_{i-k} — расчетный расход в участке сети.

§ 30. СОЧЕТАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ С ПОВЕРОЧНЫМИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ РАСЧЕТАМИ СЕТЕЙ (ОБЪЕМ И ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ В РЕАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ)

Использование изложенных методов расчета систем подачи и распределения воды дает возможность решать все основные задачи по определению величин оптимальных диаметров сетей и водоводов при их совместной работе с водопитателями и регулирующими емкостями при учете требований надежности, определять (в результате поверочных расчетов) действительный режим работы всех элементов системы для различных расчетных моментов и обоснованно выбирать характеристики насосных станций.

Доминирующим принципом при всех расчетах указанных систем является принцип нахождения решения, обеспечивающего наивыгоднейшие экономические показатели системы в целом при соблюдении заданных условий нормального водообеспечения потребителей и требований надежности.

В практике проектирования систем водоснабжения все изложенные методы расчета используются в различных сочетаниях и модификациях. До начала расчета системы должна быть установлена (выбрана) ее общая схема, т. е. место расположения всех водопитателей, регулирующих емкостей и нефиксированных отборов, трассы всех водоводов и магистральных расчетных линий сети, а также намечены схемы отдачи воды (узловые фиксированные отборы) для всех расчетных случаев. Все это может быть сделано в нескольких вариантах.

Основными расчетными случаями нормальной работы системы яв-

ляются момент наибольшего водопотребления и момент двустороннего питания сети — от водопитателей (насосных станций) и от напорно-регулирующих емкостей, расположенных в удаленных точках сети. Кроме того, система должна быть проверена на случаи подачи воды при аварии[1] на сети (в соответствии с требованиями надежности) и при пожаре (в соответствии с противопожарными требованиями).

Обычно расчет системы подачи и распределения воды производят в следующем порядке:

1) намечается начальное потокораспределение с учетом требований надежности и с учетом возможного колебания расходования энергии на подъем воды;

2) производится определение экономически наивыгоднейших диаметров линий сети и водоводов;

эта задача может решаться путем применения полного технико-экономического расчета (см. § 29) или путем использования упрощенных формул или таблиц предельных расходов. И в том и в другом случае диаметр должен определяться по «приведенному расходу» (см. § 18). В практике проектирования преимущественное распространение имеют упрощенные приближенные способы нахождения экономически наивыгоднейших диаметров. Применение вычислительных машин позволяет использовать и полный технико-экономический расчет;

3) далее проводится серия поверочных расчетов системы, т. е. внутренняя и внешняя увязка сети при уже принятых диаметрах линий и намеченных к использованию насосных агрегатах.

Учет совместной работы сети с водопитателями и нефиксированными отборами часто проводится путем последовательных попыток и внесения коррективов в величины Q и H водопитателей сети. Однако эта же задача решается успешно (особенно при использовании вычислительных машин) путем изложенных методов «внешней увязки».

Поверочные расчеты проводятся не только для основных расчетных случаев нормальной работы системы, но и на все (намеченные) аварийные случаи.

При необходимости значения диаметров корректируются.

При наличии сравниваемых вариантов расположения водопитателей, распределения общей нагрузки между ними, трассы водоводов и т. п. указанная серия расчетов проводится для каждого варианта.

Таким образом, общая технико-экономическая задача решается в результате использования методов прямого расчета, поверочного расчета и методов вариантного проектирования.

Следует еще раз подчеркнуть, что использование вычислительных машин позволяет выполнять весь большой объем перечисленных расчетов достаточно быстро и точно.

Глава 8

ЗОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 31. ПОНЯТИЕ О ЗОННЫХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При определенных местных топографических условиях в ряде случаев оказывается целесообразным разделение единой централизованной системы водоснабжения на несколько «высотных зон».

[1] Предусмотрено проектом новой редакции СНиП II-Г.3.

Зонирование водопровода может быть вызвано как техническими, так и экономическими соображениями, так как оно позволяет снизить давление в трубах водопроводных сетей и уменьшить количество энергии, затрачиваемой на подъем воды.

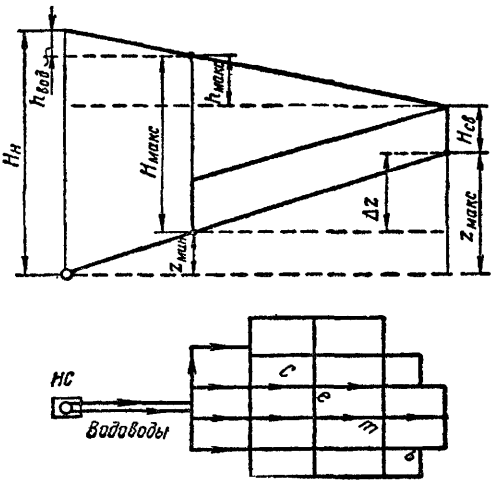


Рис. III.27

Системы водоснабжения, разделенные на зоны, называются зонными, или зональными. Чаще всего зонные водопроводы устраивают в случае значительной разности отметок земли в пределах обслуживаемой водопроводом территории.

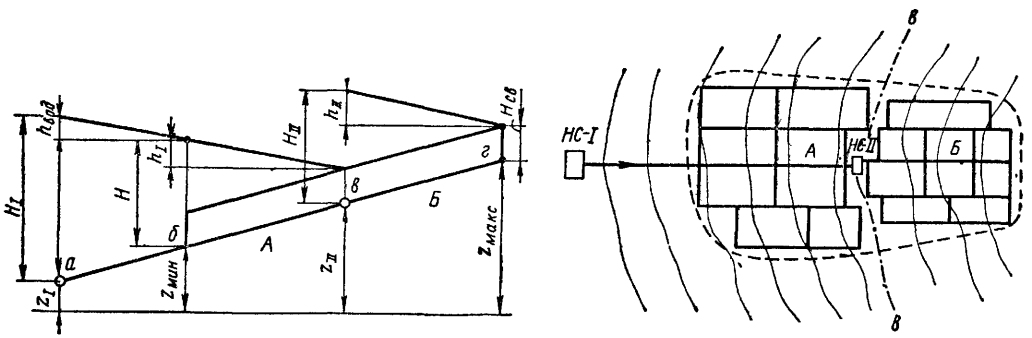


Рис. III.28

Иногда зонирование применяется и при большом различии значений свободных напоров, требуемых отдельными потребителями (в водопроводах некоторых промышленных предприятий).

Когда отдельные точки снабжаемой водой территории имеют значительную разность отметок, то в пониженных точках водопроводной сети могут возникнуть давления, превышающие допустимые для используемых типов труб и условий эксплуатации водопровода.

Если в наиболее высоко расположенной точке сети (рис. III.27) должен быть обеспечен свободный напор $H_{св}$, то в ее нижней точке при незонированной системе напор будет составлять

$$H_{макс} = (z_{макс} - z_{мин}) + H_{св} + h_{макс},$$

или

$$H_{макс} = \Delta z + H_{св} + h_{макс},$$

где $z_{макс} - z_{мин} = \Delta z$ — максимальная разность отметок местности в пределах обслуживаемой территории;

$h_{макс}$ — максимальные потери напора в сети.

Если полученное значение $H_{макс}$ превышает допустимый напор, то необходимо разделить сеть на зоны с таким расчетом, чтобы в пределах каждой из них напор не превышал допустимого.

Зонирование может быть осуществлено по «последовательной» или по «параллельной» схеме. В первом случае отдельные зоны соединяются последовательно (рис. III.28), во втором случае зоны включены параллельно (рис. III.29).

При последовательном зонировании общая водопроводная сеть объекта делится на две последовательно соединенные сети (например, *А* и *Б* на рис. III.28). Граница между зонами *в—в* определяется значением наибольшего допустимого в сети напора H_I.

Напор в сети нижней зоны *А* (H) также не должен превышать допустимого.

Вода подается головной насосной станцией в количестве $Q_I + Q_{II}$, обеспечивающем потребности обеих зон, и под напором H_I, рассчитанным на подъем воды до границы между зонами. Здесь устанавливается насосная станция *НС-II* верхней зоны. Она берет воду в количестве Q_{II} из сети нижней зоны (непосредственно или через регулирующую емкость) и подает ее под напором H_{II} в сеть верхней зоны.

Таким образом, расход верхней зоны подается транзитом через сеть нижней зоны.

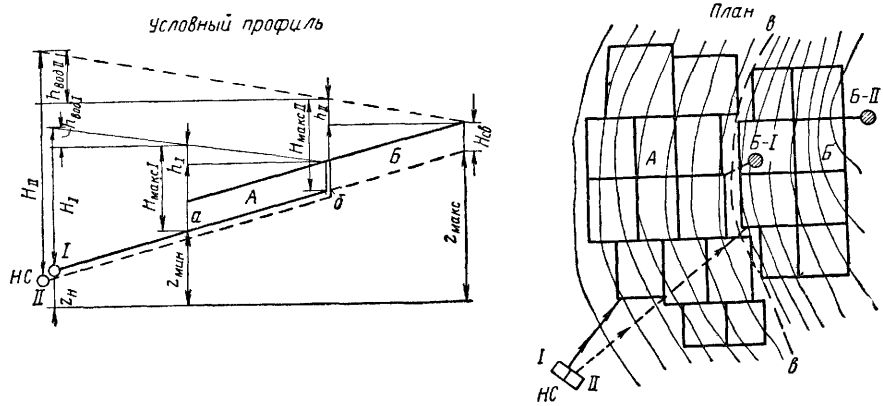


Рис. III 29

В системах параллельного зонирования принципы разделения общей сети на сети верхней и нижней зоны те же самые, но вода подается в сеть каждой зоны по отдельным водоводам своей группой насосов, расположенной на общей головной насосной станции (см. рис. III.29). Таким образом, зоны включаются параллельно.

Водоводы, питающие верхнюю зону, обычно прокладываются через территорию нижней зоны.

Насос нижней зоны подает расход Q_I под напором H_I, необходимым для этой зоны; насос верхней зоны подает расход Q_{II} под значительно

бо́льшим напором H_{II}, так как насосы второй зоны поднимают воду на значительно бо́льшую геометрическую высоту, и в величину их напора входят большие потери в водоводах.

Как видно из рис. III.29, при параллельном зонировании значения напоров $H_{макс\ I}$ для первой зоны и $H_{макс\ II}$ для второй зоны (в точках *а* и *б* примыкания водоводов к территориям зон) не должны превышать допустимого напора. Следует иметь в виду, что в водоводах, как правило, допустимы давления значительно бо́льшие, чем в сетях, к которым присоединяются домовые ответвления.

Каждая из рассмотренных систем зонирования имеет свои достоинства и недостатки.

Недостатком системы последовательного зонирования является необходимость устройства дополнительной отдельно стоящей насосной станции (для каждой лишней зоны), что связано с увеличением затрат на строительство и затрат на эксплуатацию — в части содержания персонала. Надежность этих систем ниже, чем систем параллельного зонирования, где имеет место независимая подача воды в каждую зону.

К недостаткам систем параллельного зонирования относится увеличение строительной стоимости водоводов (вследствие увеличения их суммарной длины).

Вообще строительная стоимость зонированной системы для любого объекта будет всегда больше, чем незонированной.

§ 32. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ЗОНИРОВАНИЯ

При зонировании систем водоснабжения всегда снижается (по сравнению с незонированной системой того же объекта) суммарная мощность насосных станций и, что самое главное, снижается расход энергии на подъем воды, а, следовательно, уменьшаются эксплуатационные расходы.

В силу этого в ряде случаев зонирование систем водоснабжения оказывается целесообразным исключительно по экономическим соображениям (даже тогда, когда оно не диктуется необходимостью избегать в сети давления, превышающие допустимые).

Снижение общего расхода энергии на подъем воды в результате зонирования можно легко объяснить, если учесть один из основных органических недостатков всякой централизованной системы водоснабжения. Он состоит в том, что в единой (незонированной) системе водоснабжения напор, который должны создавать насосы, определяется по наиболее неблагоприятно расположенной водоразборной точке, т. е. наиболее возвышенной и удаленной от источников питания. Остальные водоразборные точки требуют меньших напоров. При единой сети в этих точках создается излишний против требуемого напор.

Чтобы дать энергетическую оценку системе подачи и распределения воды, необходимо проанализировать, на что и в каких количествах расходуется общая энергия, затрачиваемая насосными станциями на подъем воды.

Рассмотрим простейшую систему в виде водовода с несколькими отборами Q_i в различных его точках и с одним насосом (рис. III.30).

Общее количество энергии, затрачиваемой в единицу времени насосом (и как бы передаваемой в систему) при подаче расхода Q л/с на общую высоту подъема H м, может быть выражено произведением

$$E = Q\gamma H.$$

или при $\gamma = 1$

$$E = QH.$$

Энергия E затрачивается на совершение работ трех следующих видов:

1) работы по подъему требуемых (потребителю) количеств воды Q_i до требуемых отметок точек отбора воды H_i (размер H_i слагается из отметки земли z_i и высоты расположения точки отбора над уровнем земли H_i')

$$E_т = \Sigma Q_i H_i;$$

суммирование распространяется на все точки отбора воды из системы;

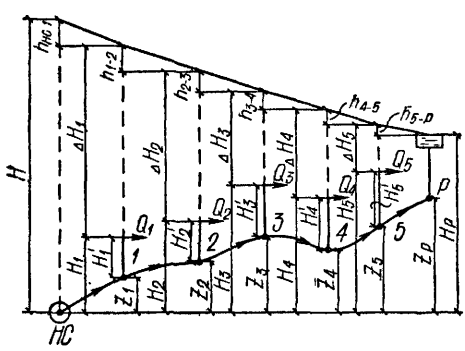


Рис. III.30

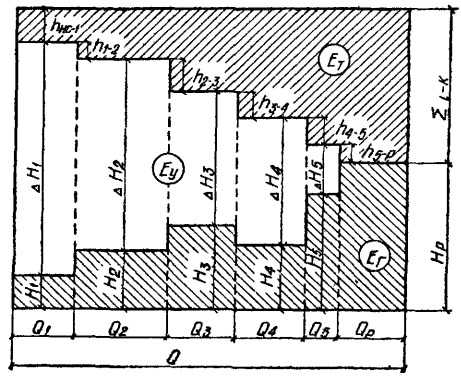


Рис. III.31

2) работы по преодолению гидравлических сопротивлений в трубах при транспортировании заданных количеств воды к местам ее отбора

$$E_т = \Sigma q_{i-k} h_{i-k},$$

где q_{i-k} — расчетные расходы и h_{i-k} потери напора в участках сети;

3) бесполезной работы при отборах воды под избыточным против потребного напором ΔH_i

$$E_у = \Sigma Q_i \Delta H_i.$$

Здесь суммирование распространяется также на все точки отбора воды.

Можно легко показать, что $E_г + E_т + E_у = E$.

Из трех компонентов энергии, затрачиваемой на подъем воды насосом, лишь первый $E_г$ представляет собой полезно расходуемую (для потребителя) энергию. При проектировании систем водоснабжения расходы Q_i и отметки H_i точек отборов воды являются заданными. Следовательно, и энергия $E_г$ является заданной и не может быть изменена проектировщиком. Второй компонент израсходованной энергии $E_т$ представляет собой энергию, хотя и потерянную (для потребителя), но необходимую для транспортирования воды. Размер этого компонента получается в результате нахождения наивыгоднейших значений потерь напора (путем технико-экономического расчета сети) и экономически наивыгоднейших диаметров труб. Очевидно, стремление снизить $E_т$ требует уменьшения h_{i-k} и приводит к неэкономичному решению, так как вызывает увеличение диаметров труб и нарушает наивыгоднейшее соотношение строительных и эксплуатационных затрат.

Третий компонент $E_у$ представляет собой бесполезно расходуемую энергию. Наличие $E_у$ и является казанным органическим недостатком

централизованных систем водоснабжения. Обслуживание единой системой потребителей, отбирающих воду из сети на различных отметках H_i, приводит к тому, что насосная станция должна подавать всю воду под напором, который требуется для одного высокорасположенного и удаленного потребителя.

Показателем эффективности использования энергии в централизованных системах водоснабжения может служить величина:

$$\varphi = \frac{E_г + E_т}{E} = 1 - \frac{E_у}{E}.$$

Очевидно, что для данного объекта и в данных условиях повышение φ, т. е. снижение избыточно расходуемой энергии, может быть осуществлено только путем снижения $E_у$ (при условии, что $E_т$ определено в результате технико-экономического расчета сети).

Для энергетического анализа систем водоснабжения весьма полезны «графики энергии»; например, график энергии на рис. III.31, построенный для простейшей системы, приведенной на рис. III.30. Здесь по оси абсцисс отложены отборы воды Q_i (последовательно) и расходы воды по участкам (получаемые путем суммирования Q_i); по оси ординат отложены величины H_i, ΔH_i и h_{i-k}. В соответствии с приведенными выше формулами образуются площади, представляющие собой компоненты энергии $E_г$, $E_т$ и $E_у$. Относительный размер площади $E_у$ непосредственно указывает на степень использования энергии в системе.

Графики энергии дают наглядное представление о влиянии различных факторов на величину $E_у$.

Так, наличие крупных отборов воды в начальных районах сети, расположенных на низких отметках, существенно увеличивает горизонтальные размеры нижних ступеней графика (лежащих в пределах больших значений ΔH) и тем самым площадь $E_у$, т. е. бесполезно расходуемую энергию. Следовательно, может оказаться экономически выгодным выделение крупных потребителей и их питание отдельной группой насосов, установленной на центральной станции (под соответствующим низким напором).

Увеличение ординат графика H_i для удаленных точек сети обусловливает увеличение всех его ординат и, следовательно, значительный рост площади $E_у$. Поэтому становится рентабельным выделение отдельных групп высоко расположенных потребителей в отдаленных районах сети в отдельную зону с питанием от районной станции подкачки.

Рассмотрение приведенного примера системы и ее энергетическая оценка наглядно показывают возможность эффективного снижения расхода энергии на подъем воды путем зонирования системы.

Очевидно, что применение зонирования для повышения экономичности системы может иметь смысл только в том случае, если вызываемое зонированием повышение строительной стоимости системы, стоимости содержания персонала нескольких станций и т. п. не перекрывает экономии, достигаемой благодаря снижению затрат на энергию.

§ 33. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА ЗОННЫХ СИСТЕМ

При проектировании зонного водопровода основными вопросами является выбор числа зон и схемы зонирования.

На основании изложенного ясно, что решение этих вопросов зависит от технических и экономических соображений. По чисто техническим соображениям определяют число зон — исходя из необходимости

обеспечить в сети напоры, допустимые техническими условиями эксплуатации водопровода. Расчетная «высота зоны», т. е. разность отметок местности в пределах зоны $\Delta z = z_{макс} - z_{мин}$, не должна превышать

$$\Delta z_{кр} = H_{макс} - H_{св} - h_{макс}.$$

Как было сказано ранее (раздел II), рабочее давление $H_{макс}$, которое может быть допущено в водопроводной сети, в городских водопроводах не должно, как правило, превышать 60 кгс/см^2.

Таким образом, задаваясь величиной $H_{макс}$, зная отметки местности z в пределах территории снабжаемого водой объекта и принимая ориентировочно возможную наибольшую величину потерь напора в сети $h_{макс}$, можно сделать вывод о том, является ли зонирование необходимым.

Если разность $\Delta z_{кр}$, вычисленная по приведенной формуле, будет превышать наибольшую разность геодезических отметок в пределах обслуживаемой территории, то, очевидно, система должна быть разбита на зоны.

Если зонирование устраивается из экономических соображений (т. е. в целях сокращения стоимости энергии на подъем воды), то, очевидно, экономически наивыгоднейшее число зон будет соответствовать минимальной величине приведенных затрат на строительство и эксплуатацию системы.

Анализ этого вопроса показывает, что экономически наивыгоднейшее число зон растет с увеличением стоимости электроэнергии, общей производительности водопровода и максимальной разности отметок обслуживаемой территории. Расчетная «высота зоны» уменьшается с увеличением суммарного расхода воды снабжаемым объектом и стоимости энергии и увеличивается с увеличением общей разности геодезических отметок в пределах территории объекта.

Ввиду большого числа и разнообразия факторов, влияющих на высоту зоны, экономически наивыгоднейшее значение ее может колебаться в широких пределах. Для малых городов (с незначительным расходом воды) в зависимости от стоимости энергии это значение достигает 60—100 м и более, т. е. превосходит значение, предельно допустимое по техническим соображениям. В больших городах экономически наивыгоднейшая высота зоны падает до 25—40 м. Отсюда можно заключить, что для объектов с малым расходом выбор числа зон диктуется преимущественно техническими соображениями (соблюдение допустимых давлений); по экономическим же соображениям зонирование может быть целесообразным для объектов с относительно большим водопотреблением.

Выбор системы зонирования (последовательного или параллельного) зависит в основном от конфигурации обслуживаемой территории и рельефа местности. Параллельное зонирование обычно более рационально для городов с территорией, вытянутой вдоль горизонталей (рис. III.32, *а*), так как в этом случае протяженность водоводов от насосной станции до каждой из зон будет сравнительно малой. При застройке, вытянутой в направлении, перпендикулярном горизонталям (рис. III.32, *б*), обычно более рентабельно зонирование по последовательной схеме, так как увеличение числа станций может обойтись дешевле, чем укладка дополнительных водоводов значительного в данном случае протяжения.

Ввиду исключительного разнообразия местных условий могут быть различные комбинации зонных систем. Например, если возвышенная часть обслуживаемой территории расположена в непосредственной бли-

зости к источнику (рис. III.33), целесообразно устройство системы параллельного зонирования. При ином расположении источника (рис. III.34) может оказаться целесообразна система последовательного зонирования.

Зонирование водопроводных сетей по условиям допустимых давлений может быть применено не только при большой разности отметок

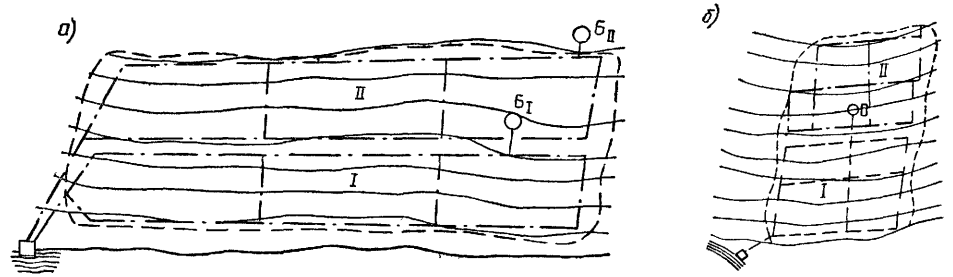


Рис. III.32

обслуживаемой территории, но и при значительном протяжении сети на местности с плоским рельефом. Увеличение давления в начальных точках сети из-за больших потерь напора может привести к недопустимым по техническим соображениям давлениям в трубах, а также к чрезмерно большим напорам насосов. Зонирование таких систем называют иногда «горизонтальным» в противоположность «вертикальному» зонированию системы на местности с резко выраженным рельефом.

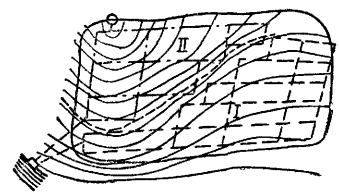


Рис. III.33

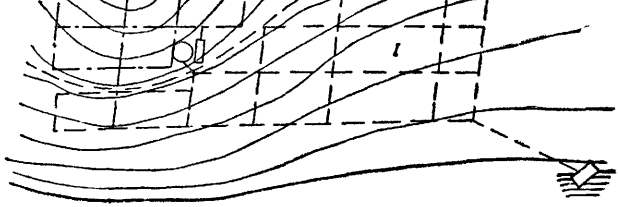


Рис. III.34

Горизонтальное зонирование ввиду значительной длины зон, обусловливаемой относительно медленным нарастанием потерь напора, всегда выгоднее устраивать по последовательной схеме. Весьма часто устраиваются однозонная основная сеть для города в целом и несколько районных станций подкачки, забирающих воду из основной сети и подающих ее в соответствующие возвышенные районы.

Ввиду того что с увеличением числа станций растут затраты на содержание обслуживающего персонала (составляющие существенную долю в бюджете городского водопровода), большое значение приобретает автоматизация работы станций подкачки, обеспечивающая автоматический пуск насоса при падении напора ниже заданного.

Гидравлический расчет зонных систем производится по тем же принципам, что и расчет обычных водопроводов, но при расчете сетей нижних зон должна быть учтена связь их с верхними зонами.

Примерами такой связи могут служить: транзит воды в верхние зоны, постоянный или переменный в зависимости от соотношения размеров водопотребления в отдельных зонах; тушение пожара с забором воды из подземного регулирующего резервуара; пополнение пожарного запаса (расход для пополнения пожарного запаса должен проходить транзитом через сети нижних зон).

Для точек отбора воды из основной сети станциями подкачки (непосредственно или через резервуары) при расчете должны быть заданы характеристики соответствующих нефиксированных отборов.

Своеобразные системы зонных водопроводов устраиваются при расположении источника на отметках, превышающих отметки обслуживаемой территории, т. е. при подаче воды самотеком.

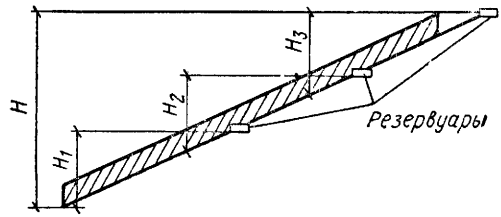


Рис. III.35

Если создаваемый напор приводит к чрезмерно высоким давлениям в нижних частях единой сети, то устраивают систему «обратного зонирования», разделяя сеть на две или несколько зон с промежуточными резервуарами, обслуживающими ближайшую нижнюю зону и подающими воду от верхней зоны (рис. III.35). Резервуары эти играют роль «гасителей» избыточного напора. Такие системы применяют в городах, расположенных в гористых местностях. В некоторых случаях избыточный напор при поступлении воды в такие резервуары используется для создаваемых здесь гидроэлектрических станций.

В мировой практике водоснабжения имеется ряд примеров таких станций значительной мощности, устроенных на крупных районных водопроводах.

Глава 9

УСТРОЙСТВО ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

§ 34. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Для того чтобы водопроводные сети могли успешно и бесперебойно выполнять свои функции транспортирования и распределения воды по территории снабжаемого объекта, они должны иметь надлежащее конструктивное оформление.

Подавляющее большинство водопроводных линий (водоводов и сетей) монтируется из труб, т. е. элементов, изготовляемых заводским способом. На месте строительства производится лишь соединение труб и их укладка.

Таким образом, сооружение водопроводных сетей может служить

примером самого широкого использования принципа сборности в строительстве.

В соответствии с условиями работы водопроводных линий в процессе их эксплуатации к ним предъявляются следующие основные требования:

а) прочность, т. е. хорошее сопротивление всем возможным (заданным) внутренним и внешним нагрузкам;

б) герметичность (водонепроницаемость);

в) гладкость внутренней поверхности их стенок, обеспечивающая наименьшие потери напора на трение при движении воды;

г) долговечность, т. е. длительный срок службы, обусловливаемый в основном хорошим сопротивлением материала труб (или их покрытий) внешним и внутренним агрессивным воздействиям среды (транспортируемой воды, грунтов, грунтовых вод и т. п.).

Кроме того, трубы, как и все элементы сборного строительства, должны обеспечивать возможность их легкого, простого, быстрого и надежного соединения (монтажа стыков) на строительной площадке.

Наконец, водопроводные линии, как и всякие инженерные сооружения, должны удовлетворять требованиям наибольшей экономичности.

Напорные водопроводные трубы должны быть рассчитаны на сопротивление давлению воды на внутреннюю поверхность их стенок. Расчетное рабочее давление определяется в результате расчета сетей и водоводов и может колебаться для различных сетей в широких пределах.

В соответствии с условиями укладки труб они должны также иметь достаточную прочность для сопротивления давлению грунта, прогибам от собственного веса (при неплотных грунтах), нагрузкам от транспорта и т. п.

Герметичность как самих труб, так и, особенно, стыковых соединений является важнейшим условием успешной и экономичной работы водопровода. Несоблюдение герметичности линий вызывает постоянные непроизводительные траты воды и повышает стоимость эксплуатации системы. Утечки воды из сети могут также повлечь подмыв грунта и привести к серьезным авариям.

В системах водоснабжения различных объектов и в различных местных условиях все основные параметры, которые необходимо учитывать при выборе типа используемых труб (количество подаваемой воды, внутреннее рабочее давление, характер грунтов и т. п.), меняются в весьма широких пределах. Поэтому естественно, что в различных условиях более целесообразно использовать различные типы труб.

Таким образом, применение в мировой практике многих типов труб (как по материалам, так и по конструкции стыков) является следствием не только исторического развития производства труб, но и наличия различных условий их использования.

В современной практике строительства водоводов и наружных водопроводных сетей широко применяются трубы чугунные, стальные, асбестоцементные и железобетонные. Ранее некоторое применение имели деревянные трубы (различных конструкций). В настоящее время все более широкое применение в мировой практике получают предварительно напряженные железобетонные трубы и трубы из синтетических материалов (пластмассовые), являющиеся весьма перспективными.

Для возможности разумного выбора типов труб при определенных условиях необходимо ознакомиться с характеристикой современных типов труб из различных материалов и различных конструкций.

§ 35. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВОДОПРОВОДНЫЕ ТРУБЫ

а. Чугунные водопроводные трубы

Чугунные водопроводные трубы, изготовляемые в настоящее время в СССР, принадлежат к типу раструбных (рис. III.36, *а*), т. е. имеют на одном конце раструб.

Чугунные трубы изготовляют на наших заводах путем стационарного литья в песчаные формы (ГОСТ 5525—61), а также методом центробежного и полунепрерывного литья (ГОСТ 9583—61).

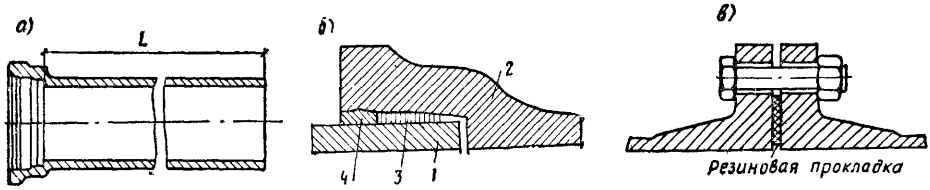


Рис. III.3

В зависимости от толщины стенок (и, следовательно, допустимого внутреннего давления) чугунные трубы, изготовляемые по первому из указанных методов, выпускаются двух классов (А и Б), а изготовляемые по второму методу — трех классов (ЛА, А и Б). Трубы изготовляются внутренним диаметром (условным проходом) от 50 до 1200 мм и имеют длину (в зависимости от диаметра) от 2 до 7 м.

Для предохранения от коррозии чугунные водопроводные трубы при их изготовлении на заводе внутри и снаружи покрывают нефтяным битумом.

Стыковое соединение труб должно быть прочным и водонепроницаемым. Вместе с тем стыки уложенных в землю труб должны обладать некоторой гибкостью, допускающей возможность поворота соседних труб на незначительный угол между их осями (при просадках грунта по длине линии) без нарушения прочности и герметичности стыка.

Поэтому вопросам конструкции стыковых соединений и выбора материалов, применяемых для уплотнения стыков, специальные научно-исследовательские и производственные организации уделяют большое внимание.

При соединении раструбных труб гладкий конец *1* одной трубы вводят в раструб *2* другой (оставляя зазор 3—5 мм) и заполняют образовавшееся кольцевое пространство уплотняющими материалами *3* и *4* (рис. III.36, *б*).

Вначале производят конопатку раструбной щели в целях обеспечения водонепроницаемости стыка, для чего в щель (на длину около $^2/_3$ ее глубины) закладывают свернутый в несколько оборотов жгут смоленой или битумизированной пряди (каната) *3*, уплотняемой специальным инструментом. В остальную часть раструба вводят заполнитель *4*, который придает стыку прочность.

В качестве заполнителя в нашей и зарубежной практике применялись и применяются различные материалы (свинец, цемент, асбестоцемент, сернистые сплавы и др.). Весьма обширные исследования по изучению лучших видов заполнителей проведены во ВНИИ ВОДГЕО. В результате этих исследований в качестве заполнителя был предложен и получил в настоящее время наиболее широкое применение асбестоцемент, представляющий собой смесь 30% асбеста и 70% чистого портландцемента (по массе) с добавлением 10—12% (от массы смеси) воды.

Раструбную щель заполняют увлажненной смесью слоями толщиной 8—10 мм с последовательной зачеканкой каждого слоя до полного уплотнения.

Стыки, заделанные асбестоцементом, обладают достаточной эластичностью и хорошо сопротивляются вибрационным нагрузкам.

Однако применяемые в настоящее время стыковые соединения не равнопрочны трубам. Бóльшая часть аварий трубопроводов, как показывает опыт, связана с нарушением стыков.

В целях создания стыковых соединений, равнопрочных с трубами и менее трудоемких в монтаже, научно-исследовательскими институтами

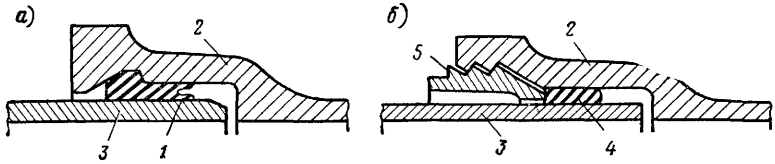


Рис III 37

разработаны новые конструкции стыковых соединений чугунных труб с использованием резиновых уплотнителей.

На рис. III.37 показаны конструкции новых стыковых соединений чугунных труб диаметром от 50 до 300 мм. В стыке, показанном на рис. III.37, *а*, резиновое самоуплотняющееся кольцо *1* предварительно вставляется в раструб *2*. При монтаже гладкий конец трубы *3* вводится в раструб с заранее вложенным в него кольцом. В стыке, показанном на рис. III.37, *б*, резиновое уплотнительное кольцо *4* (круглого сечения) вводится в раструбную щель и удерживается там упорной металлической муфтой *5*, которая ввинчивается в раструбную щель при помощи специального проспособления.

Монтаж узлов на сети осуществляется при помощи специальных деталей — так называемых фасонных частей. Изготовляются они также из чугуна заводским способом. Размеры и типы фасонных частей установлены тем же ГОСТ 5525—61.

Различные виды фасонных частей и их условные обозначения (для чертежей) приведены в табл. III.2.

Так как на водопроводной сети устанавливаются фланцевые задвижки, фасонные части кроме раструбных соединений имеют и фланцевые соединения. Тип фланцевого соединения показан на рис. III.36, *в*. Резиновая прокладка, сжимаемая при стягивании фланцев болтами, обеспечивает герметичность стыка.

Для устройства ответвлений применяют тройники (табл. III.2, эскизы № 1, 2 и 3) и кресты (крестовины) (эскизы № 4, 5 и 6), диаметр ответвлений которых равен или меньше диаметра основного ствола.

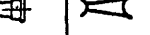
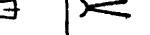
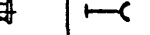
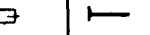
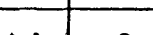
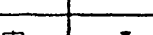
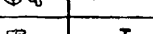
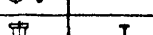
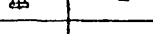
Направление линий изменяют при помощи колен с углом поворота 90° (эскизы № 7, 8 и 9) и отводов с углом менее 90° (эскизы № 10 и 11).

Для изменения диаметра сети на прямых участках применяют переходы (эскизы № 12, 13, 14 и 15) для соединения раструбных труб с фланцевыми задвижками — патрубки (эскизы № 16 и 17).

Двойные раструбы (эскиз № 18) применяют, когда нужно соединить гладкие концы раструбных труб. Для закрытия наглухо фланцевых отростков применяют так называемые фланцевые заглушки (эскиз № 19) или глухие фланцы.

Таблица III 2

№ эскиза	Эскиз	Условное обозначение на схемах	Наименование
1			Тройник фланцевый
2			Тройник раструбный
3			Тройник раструб-фланец
4			Крест фланцевый
5			Крест раструбный
6			Крест раструб-фланец
7			Колено фланцевое
8			Колено раструбное
9			Колено раструб гладкий конец
10			Отвод раструбный
11			Отвод раструб-гладкий конец
12			Переход фланцевый

№ эскиза	Эскиз	Условное обозначение на схемах	Наименование
13			Переход раструб-фланец
14			Переход раструбный
15			Переход раструб-гладкий конец
16			Патрубок фланец-раструб
17			Патрубок фланец-гладкий конец
18			Двойной раструб
19			Заглушка фланцевая
20			Пожарная подставка раструбная
21			Тройник раструб-фланец с пожарной подставкой
22			Тройник фланцевый с пожарной подставкой
23			Крест фланец-раструб с пожарной подставкой
24			Крест фланцевый с пожарной подставкой

Кроме перечисленных фасонных частей, применяемых для монтажа линий и узлов, изготовляют также фасонные части специального назначения. Из них в первую очередь следует указать на выпуски, служащие для опорожнения трубопроводов, седёлки, предназначенные для устройства присоединений к наружной сети домовых ответвлений; муфты надвижные и свертные, употребляемые главным образом при ремонтных работах на сети.

Наконец, для установки на сети пожарных кранов (гидрантов) применяют специальные фасонные части — пожарные подставки. Они представляют собой раструбные патрубки (эскиз № 20), тройники (эскизы № 21 и 22) или кресты (эскизы № 23 и 24) с вертикальными фланцевыми отростками диаметром 200 мм, предназначенными для установки гидрантов (см. § 43).

Чугунные раструбные трубы являются в настоящее время наиболее распространенным типом труб, применяемых при устройстве наружных водопроводных сетей. Большой ассортимент фасонных частей к ним облегчает монтаж узлов сети и установку арматуры. Осуществляемые на заводе противокоррозионные покрытия обычно достаточно хорошо защищают чугунные трубы от коррозии и обеспечивают их долговечность.

К недостаткам чугунных труб можно отнести относительно плохое сопротивление динамическим нагрузкам и больший расход металла на изготовление по сравнению с расходом металла на стальные трубы. Недостатком чугунных труб (в отличие от стальных) является также то, что в случае нарушения при аварии целостности трубы могут выпадать куски ее стенок, что вызывает весьма значительные потери воды, особенно на линиях большого диаметра.

Применение чугунных труб для высоконапорных водоводов ограничивается также допустимыми для них значениями внутренних давлений.

б. Стальные трубы

Для наружных водопроводных линий применяют стальные трубы, изготовляемые по ГОСТ 10704—63 «Трубы стальные электросварные» диаметром до 1600 мм и ГОСТ 3262—62 «Трубы стальные водогазопроводные».

Все эти трубы изготовляются с гладкими концами.

В системах водоснабжения стальные трубы применяют в основном для водоводов, работающих при значительных внутренних давлениях, а также для водопроводных линий при укладке их в макропористых грунтах, в сейсмических районах, по мостам и эстакадам и при устройстве дюкеров, т. е. в условиях, где требуется хорошая сопротивляемость труб динамическим нагрузкам и изгибающим усилиям.

Стальные трубы, имеющие гладкие концы, соединяют в нашей практике почти исключительно путем сварки.

Методы производства работ по сварке стыков труб излагаются в курсе технологии и организации строительного производства.

В зарубежной практике для соединения стальных труб с гладкими концами применяют также различного типа соединительные муфты; кроме того, изготовляются раструбные стальные трубы.

Стальные трубы выпускаются без покрытия внешней и внутренней поверхностей их стенок каким-либо составом, предохраняющим металл от коррозии. Поэтому изоляцию стальных труб, укладываемых в землю, необходимо производить при их прокладке.

§ 36. ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ ОТ КОРРОЗИИ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАНЕНИЮ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ

Успешная защита металлических водопроводных труб от коррозии является одной из важных задач. Коррозия металлических труб, в особенности стальных, ведет к огромной бесполезной трате металла, сокращает срок службы водопроводных линий, является причиной аварий и утечек воды, увеличивает шероховатость внутренней поверхности стенок труб и, следовательно, потери напора в них, что сопряжено с дополнительными затратами на подачу воды. Таким образом, коррозия труб вызывает увеличение как строительных, так и эксплуатационных расходов в системах водоснабжения.

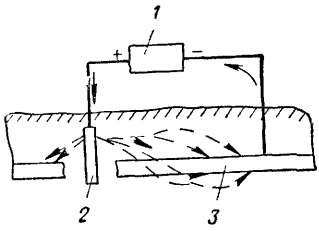


Рис. III.38

Коррозии подвергается и внешняя, и внутренняя поверхность стенок труб. В водопроводной практике большое внимание уделяется борьбе с коррозией внешней поверхности стенок стальных труб, уложенных в земле, т. е. с «почвенной» коррозией, обусловливаемой разрушающим действием на металл жидких электролитов, какими являются растворы солей, имеющихся в почве. Коррозионная активность почвы связана с величиной электрического сопротивления почвы: чем меньше электрическое сопротивление, тем больше коррозионное действие грунта. Это обстоятельство позволяет проводить исследование коррозионных свойств грунтов при помощи определения их электрического сопротивления.

Основным способом защиты от коррозии внешней поверхности стенок стальных труб в настоящее время является применение различных битумных покрытий. Различают несколько типов изоляции — от «нормальной» до «весьма усиленной».

Тип изоляции устанавливают в зависимости от степени коррозийности почвы и ответственности водопроводной линии.

Противокоррозионная изоляция трубопроводов из стальных труб должна выполняться в соответствии с требованиями СН-266 «Правила защиты подземных металлических сооружений от коррозии».

Другим, принципиально отличным от первого методом защиты металлических водопроводных труб от коррозии является катодная защита, основанная на электрохимической теории коррозии. По этой теории коррозия металла обусловливается возникновением на поверхности его соприкосновения с коррозионной средой гальванических пар. Разрушение металла происходит в точках выхода из него тока в окружающую среду (у анодов).

Для катодной защиты металлических труб постоянный ток направляют в землю от специального источника *1* (рис. III.38) через зарытые вблизи защищаемого трубопровода отрезки старых труб или рельсов, служащие анодом, *2*. Ток идет к трубопроводу *3* и делает тем самым его поверхность катодом, что защищает трубопровод от разрушающего действия гальванических пар. От трубопровода ток отводится специальным проводом к отрицательному полюсу источника тока.

Ввиду значительного расхода электроэнергии катодная защита обычно экономически оправдана лишь в качестве дополнительной меры защиты металлических трубопроводов, имеющих битумное покрытие.

Если по стальным трубам проходит вода, которая может вызвать

коррозию, весьма целесообразно применение мероприятий для защиты от коррозии не только внешней, но и внутренней поверхности стенок стальных труб. Коррозийными свойствами обладает вода с низким значением pH и вода с высоким содержанием растворенной углекислоты, кислорода, а также сульфатов и хлоридов. Эти воды вызывают относительно быстрое корродирование стенок стальных труб изнутри, что приводит к резкому увеличению шероховатости, росту гидравлических сопротивлений водопроводных линий и, следовательно, снижению их пропускной способности.

Для предохранения внутренней поверхности стенок труб от коррозии можно также применять различные виды покрытий. В заграничной практике (в США, Англии и других странах) успешно применяется цементное покрытие стальных (иногда и чугунных) труб. Цементное покрытие толщиной 3—6 мм наносится на трубы специальными центробежными машинами на заводе при их изготовлении или на месте укладки. Цементное покрытие позволяет сохранить в течение длительного времени неизменную и высокую пропускную способность труб.

Защита внутренней поверхности стенок металлических труб от коррозии может быть достигнута также путем специальной обработки воды, приводящей к потере ею коррозионных свойств (см. раздел V).

Металлические водопроводные трубы (в особенности стальные) при прокладке их вблизи путей городского или внутризаводского электротранспорта (работающего на постоянном токе) подвергаются сильному разрушающему действию блуждающих токов. Эти токи протекают из рельсов в землю или из земли в рельсы в зависимости от взаимного расположения точек с разными потенциалами. При этом, как показывает опыт, разрушение поверхности труб происходит в местах выхода из них тока в землю.

Защита труб от действия блуждающих токов в основном сводится к предотвращению образования этих токов путем специального оборудования рельсовых путей электротранспорта.

При трассировке водопроводных линий на территории, по которой проходят пути электротранспорта, следует по возможности удалять их от этих путей.

§ 37. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВОДОПРОВОДНЫЕ ТРУБЫ

а. Асбестоцементные трубы

Асбестоцементные трубы изготовляются заводским способом из смеси 75—80% (по массе) портландцемента и 20—25% асбестового волокна. Трубы имеют вид гладких цилиндров длиной $L=3$—4 м, концы их на длине l обточены (рис. III.39).

Присущие асбестоцементным трубам достоинства делают вполне целесообразным их применение в ряде случаев наравне с металлическими трубами. К числу таких достоинств относятся:

а) малая теплопроводность;

б) стойкость в отношении коррозии;

в) диэлектричность, выгодно отличающая эти трубы от металлических, подверженных разрушающему действию блуждающих токов от электротранспорта;

г) малая объемная масса, облегчающая транспортирование и укладку труб;

д) сохранение в условиях эксплуатации гладкой и некорродирующей внутренней поверхности, что обеспечивает их постоянную и относительно высокую пропускную способность.

Недостатком асбестоцементных труб является их плохая сопротивляемость ударам и динамическим нагрузкам.

В СССР асбестоцементные водопроводные трубы изготовляют (ГОСТ 539—65) четырех марок (ВТ3, ВТ6, ВТ9 и ВТ12) с различной толщиной стенок, допускающих различное внутреннее давление (по ГОСТу рабочее давление соответственно 3, 6, 9 и 12 кгс/см^2).

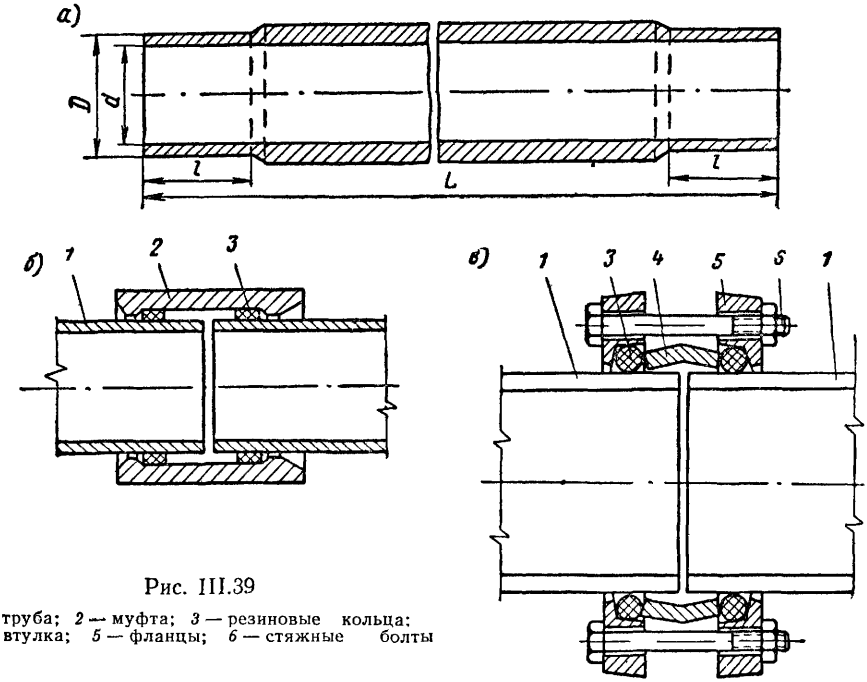


Рис. III.39

1 — труба; *2* — муфта; *3* — резиновые кольца; *4* — втулка; *5* — фланцы; *6* — стяжные болты

Согласно ГОСТу трубы изготовляются внутренним диаметром d от 50 до 500 мм; по требованию потребителей заводы могут также изготовлять асбестоцементные трубы диаметром 600, 700, 800, 900 и 1000 мм.

Соединение труб типа ВТ3 и ВТ6 производится при помощи асбестоцементных муфт (рис. III.39, *б*), а труб типа ВТ9 и ВТ12 — при помощи специальных чугунных муфт (рис. III.39,*в*).

Стыковые соединения асбестоцементных труб уплотняют резиновыми кольцами (ГОСТ 5228—60), зажимаемыми между трубой и муфтой и создающими герметичность стыка. Асбестоцементные муфты (рис. III.39, *б*) устанавливают при помощи специальных домкратов.

Указанные типы стыков обладают достаточной эластичностью, что особенно важно для относительно хрупких асбестоцементных труб. Устройство жестких стыков для этих труб не должно допускаться, так как это может привести к авариям.

Узлы на сети из асбестоцементных труб обычно монтируют при помощи стандартных чугунных фасонных частей.

Домовые ответвления от асбестоцементных труб могут устраиваться при помощи седёлок.

б. Железобетонные трубы

Железобетонные напорные трубы находят все более широкое применение в системах водоснабжения. Они изготовляются в большом диапазоне диаметров и на различные внутренние давления.

Для изготовления таких труб с успехом используется метод предварительного напряжения арматуры, в результате чего увеличивается не только прочность, но и герметичность железобетонных труб.

Изготовляются также железобетонные трубы со сплошным тонким стальным цилиндром. В СССР напорные железобетонные трубы изготовляются рядом заводов.

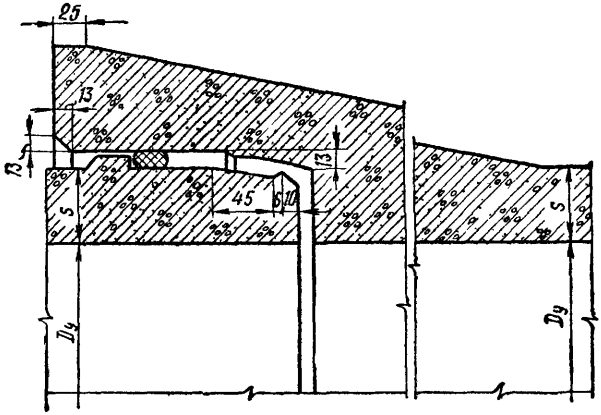


Рис III 40

В 1967 г. у нас введен ГОСТ 1286—67 на напорные предварительно напряженные железобетонные трубы, изготовляемые методом виброгидропрессования. Трубы изготовляются двух классов на расчетное избыточное внутреннее давление в 15 и 10 кгс/см^2 с условным диаметром от 500 до 1600 мм.

Соединение труб раструбное с использованием резиновых уплотняющих колец.

На рис. III.40 показан раструбный стык напорной железобетонной трубы в соответствии с ГОСТ 12586—67.

Трубы армируются стальными предварительно напряженными продольными стержнями и спиральной арматурой.

Разумеется, железобетонные трубы могут использоваться для воды, неагрессивной по отношению к бетону.

Железобетонные трубы по сравнению с металлическими (особенно стальными) имеют ряд преимуществ: стоимость в отношении коррозии; диэлектричность; способность сохранять в условиях эксплуатации гладкую поверхность, что обеспечивает постоянство их пропускной способности.

В ряде стран напорные железобетонные трубы применяются не только для водоводов, но и для магистральных линий водопроводных сетей.

Указанные преимущества способствовали широкому применению железобетонных труб в ряде зарубежных стран (США, Франции, Италии, Швеции и др.).

в. Пластмассовые трубы

Использование синтетических материалов (пластмасс) для изготовления труб разного назначения (и в частности, для водоснабжения) получило за последнее время широкое распространение в мировой практике

В настоящее время в СССР в промышленных масштабах изготовляются пластмассовые трубы:

а) из полиэтилена высокой плотности (МРТУ 6-05-917-67) с внутренним диаметром до 300 мм — четырех классов прочности на давление от 2,5 до 10 кгс/см^2;

б) из полиэтилена низкой плотности (МРТУ 6-05-918-67) с внутренним диаметром до 150 мм (на те же давления);

в) из винипласта (ТУ 4251—54) диаметром до 250 мм на давление до 2,5 кгс/см^2.

Полиэтиленовые трубы имеют гладкие концы и соединяются путем контактной сварки торцов или сварки с использованием специальных соединительных муфт.

Трубы из поливинилхлорида соединяют склеиванием (с помощью соединительных муфт) или путем прутковой сварки.

В настоящее время эти трубы используются для наружных сетей небольших водопроводов (в сельской местности).

Для сетей хозяйственно-питьевых водопроводов могут применяться пластмассовые трубы только тех марок, использование которых разрешено органами санитарного надзора.

Ряд преимуществ, которыми обладают пластмассовые трубы по сравнению с металлическими, дает основание полагать, что они найдут широкое применение и в наружных водопроводных сетях городов и промышленных предприятий.

К достоинствам пластмассовых труб относятся их высокая стойкость против коррозии (а следовательно, и долговечность), небольшой вес, диэлектричность, гладкость стенок (а следовательно, малые гидравлические сопротивления), малая теплопроводность и простота механической обработки (резка, сверление и т. п.).

§ 38. ВЫБОР ТИПА И КЛАССА ТРУБ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Учет совместного воздействия всех возможных нагрузок на трубопровод в условиях его эксплуатации позволяет наиболее экономично и целесообразно выбрать тип труб, соответствующий конкретным условиям. Решение этой задачи может быть получено в результате проведения статических расчетов труб.

В настоящее время в ГОСТах на металлические трубы дается величина испытательного давления, на которое эти трубы испытываются на заводе после изготовления. Это испытательное давление $p^0_{\text{пр}}$ является основной прочностной характеристикой труб данного типа и класса.

Трубы, которые имеют (по ГОСТу) испытательное давление $p^0_{\text{пр}}$, могут быть использованы в том случае, если

$$p^0_{\text{пр}} \geqslant \frac{p}{m_1 m_2 m_3},$$

где p — расчетное внутреннее давление в водопроводной линии, полученное в результате гидравлического расчета сети (или водовода);

m_1, m_2, m_3 — коэффициенты.

За расчетное давление принимают или наибольшее расчетное давление без учета воздействия возможного гидравлического удара, или наибольшее давление при наличии гидравлического удара $p_{\text{у}}$, умноженное на коэффициент $k_{\text{у}}$.

В расчет вводится бóльшая из величин p или $k_{\text{у}}p_{\text{у}}$.

Значение $k_{\text{у}}$ для стальных труб принимают равным 0,85, для чугунных, асбестоцементных и железобетонных труб —1.

Коэффициент m_1 учитывает кратковременность заводского испытания трубы и принимается равным 0,9 для металлических, асбестоцементных и железобетонных труб.

Коэффициент m_2 учитывает снижение прочностных показателей труб, которое может происходить в процессе эксплуатации (старение, коррозия, истирание). При благоприятных условиях эксплуатации принимают $m_2=1$.

Коэффициент m_3 учитывает условия работы труб, разделяемые на три категории:

I категория — при укладке трубопроводов в местах, труднодоступных для отрывки, $m_3=0{,}8$;

II категория — при укладке трубопроводов под усовершенствованными покрытиями, $m_3=0{,}9$;

III категория — при остальных условиях, $m_3=1$.

При расчете труб на воздействие внешних нагрузок последние приводятся к двум линейным противоположно-направленным силам P, приложенным к верхней и нижней точкам поперечного сечения трубы.

Определение силы P производится на основании обычных статических расчетов с учетом реальных данных о методе укладки труб (траншея, насыпь и т. п.), характере грунтов, нагрузок от транспорта и т. п.

Очевидно, что между полученной для данных условий силой P и несущей способностью труб ($P^0_{\text{пр}}$) данного типа и класса должно соблюдаться следующее соотношение:

$$P^0_{\text{пр}} \geqslant \frac{P}{m_1 m_2 m_3}.$$

Коэффициенты m имеют значения, приведенные выше. При соблюдении этого соотношения могут быть приняты трубы того класса, которому соответствует значение $P^0_{\text{пр}}$. Эта величина должна даваться в ГОСТах на трубы, но может быть также определена путем статического расчета исходя из размеров, толщины стенки и прочностных характеристик материала труб.

Чугунные, асбестоцементные и железобетонные трубы должны рассчитываться на совместное воздействие внутреннего давления p и внешней нагрузки P.

Для облегчения этих расчетов составлены графики, позволяющие подбирать класс трубы в зависимости от величины совместно действующих p и P*.

Трубы стальные и пластмассовые должны рассчитываться на воздействие внутреннего давления, на совместное воздействие внешней приведенной нагрузки и внешнего гидростатического давления, а также вакуума, который может образоваться в трубах.

§ 39. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБ, РАЗЛИЧНЫХ ПО МАТЕРИАЛУ

Выбор типа труб для строительства водоводов и сетей систем водоснабжения должен производиться с учетом всех требований к бесперебойности их работы, санитарных требований и соблюдения наибольшей экономичности и целесообразности их использования с народнохозяйственной точки зрения.

---

* См СНиП II-Г.3-62 и «Указания по расчету на прочность напорных трубопроводов систем водоснабжения».

Строительные нормы и правила (СНиП) предлагают преимущественное использование труб неметаллических, в первую очередь железобетонных и асбестоцементных. Наиболее перспективным типом труб при сооружении напорных водоводов, как было сказано, являются предварительно напряженные железобетонные трубы. Эти же трубы, как показывает опыт некоторых стран, могут с успехом использоваться для магистральных линий водопроводной сети.

Для водопроводных сетей могут и должны широко применяться асбестоцементные трубы, о многих достоинствах которых сказано ранее. При тщательной укладке и применении равнопрочных стыковых соединений эти трубы обеспечивают надежную работу сети. Их можно с успехом использовать также для водоводов относительно небольших диаметров.

Из металлических труб наиболее широкое применение в современной практике строительства водопроводных сетей имеют чугунные трубы, выпускаемые нашей промышленностью в большом диапазоне диаметров и различных классов прочности. Для этих труб имеется широкий ассортимент соединительных фасонных частей, что весьма облегчает и упрощает процесс монтажа узлов сети.

Стальные трубы следует применять преимущественно в местах, где имеется опасность значительных внешних динамических нагрузок на трубы: при поверхностных прокладках, на эстакадах, при переходе через реки и под путями дорог, в просадочных и вечномерзлых грунтах.

Пластмассовые трубы, имеющие ряд указанных выше преимуществ, являются весьма перспективными, но так как в настоящее время они изготовляются промышленностью лишь относительно малых диаметров, область их применения ограничивается использованием для линий водопроводных сетей диаметром не более 200—300 мм.

§ 40. ГЛУБИНА ЗАЛОЖЕНИЯ И УКЛАДКА ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ

Глубина укладки труб зависит от глубины промерзания почвы, т. е. глубины проникновения нулевой изотермы, от температуры подаваемой по трубам воды и режима ее подачи.

Глубина промерзания почвы различна не только для разных районов, но и в одном и том же районе в зависимости от характера грунтов, наличия грунтовых вод, растительного покрова, наличия и толщины снежного покрова, условий нагревания поверхности земли солнцем и т. д.

Учет всех этих обстоятельств при назначении глубины укладки в каждом отдельном случае позволит, с одной стороны, избежать излишнего заглубления и, с другой стороны, обеспечить бесперебойность работы линии.

При определении глубины заложения водоводов все перечисленные условия могут быть учтены с помощью теплотехнических расчетов. Эти расчеты, однако, не могут дать вполне точные результаты ввиду необходимости ряда допущений и трудности строгого определения расчетных параметров.

Для разводящих сетей вследствие переменного режима их работы и большого диапазона используемых диаметров теплотехнические расчеты не проводят и глубину заложения труб определяют на основании опытных данных с учетом местных условий.

По указаниям СНиП II-Г.3-62 глубина заложения труб (считая до

низа трубы) должна быть на 0,5 м больше расчетной глубины промерзания грунта (проникновения в грунт нулевой изотермы).

Глубина заложения металлических труб для северных районов Союза обычно составляет 3—3,5 м, для средней полосы — 2,5—3 м и для южных районов — 1,25—1,5 м.

Минимальную глубину укладки определяют исходя из условия предохранения труб от внешних нагрузок (в частности, от транспорта) и

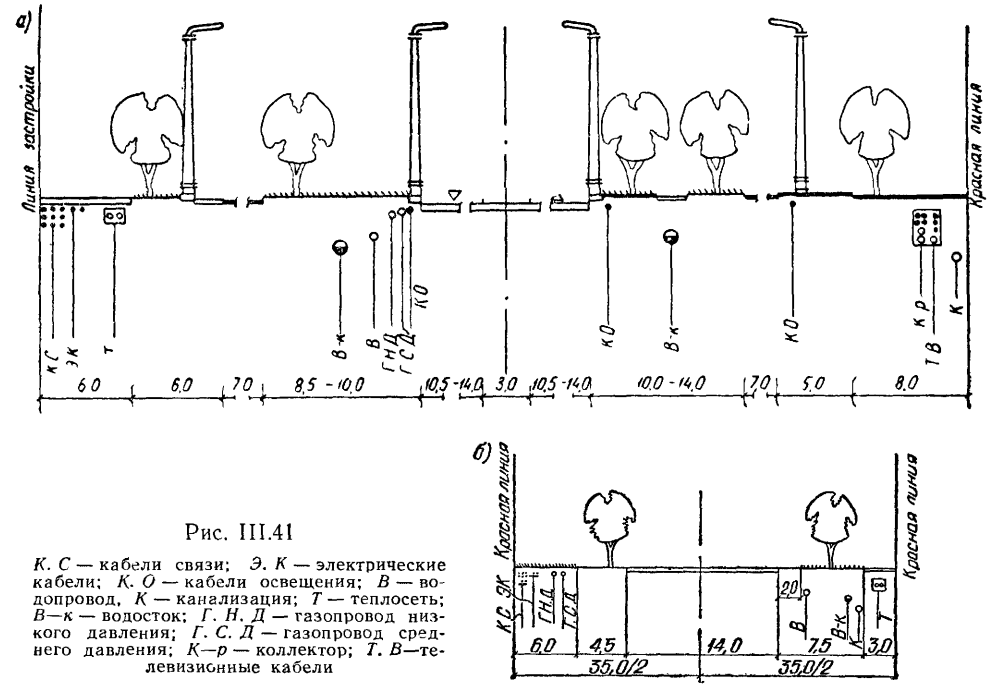


Рис. III.41

К. С — кабели связи; *Э. К* — электрические кабели; *К. О* — кабели освещения; *В* — водопровод, *К* — канализация; *Т* — теплосеть; *В—к* — водосток; *Г. Н. Д* — газопровод низкого давления; *Г. С. Д* — газопровод среднего давления; *К—р* — коллектор; *Т. В*—телевизионные кабели

нагревания в летнее время. По соображениям защиты труб от нагревания глубина заложения труб хозяйственно-питьевых водопроводов не должна быть меньше 0,5 м до верха трубы.

Глубина заложения труб, принятая для данной местности, приблизительно одинакова для всей сети, и водопроводные линии в основном следуют рельефу местности. Продольные профили линий труб должны быть запроектированы таким образом, чтобы обеспечивалась возможность опорожнения любых участков сети и выпуск из них воздуха. Для этого сеть разбивают на участки с различными по знаку уклонами, применяясь к рельефу местности, но не следуя за всеми его мелкими видоизменениями. В пониженных точках на водоводах и магистральных линиях для возможности их опорожнения устраивают выпуски, а в повышенных точках на переломе линии в профиле устанавливают воздушные вантузы, обеспечивающие выпуск воздуха (см. § 44).

Перед началом работы по укладке труб должна быть произведена разбивка трассы водоводов и линий сети в натуре. Трасса и отметки заложения водопроводных труб должны быть увязаны (согласно проекту) с расположением труб и каналов иного назначения, существующих или предполагаемых к прокладке на той же территории.

На рис. III.41 показаны некоторые рекомендуемые схемы расположения различных труб и кабелей в поперечном профиле городской ма-

гистрали (*а*) и жилой улицы (*б*) *. При этом предполагается совмещенная прокладка соседних линий в одной траншее.

При значительном диаметре водопроводной линии (500—600 мм и более) домовые ответвления присоединяют обычно не непосредственно к этой линии, а к идущей параллельно ей сопровождающей трубе, которая соединяется с магистралью в узловых точках сети.

В крупных городах и на промышленных предприятиях с большим числом трубопроводов и кабелей различного назначения для их совмещенной прокладки устраивают специальные проходные туннели (коллектора), допускающие свободный осмотр труб и их ремонт без раскопки траншей. Типы проходных туннелей, выполненных из сборных железобетонных элементов, для совмещенной прокладки коммуникаций показаны на рис. III.42.

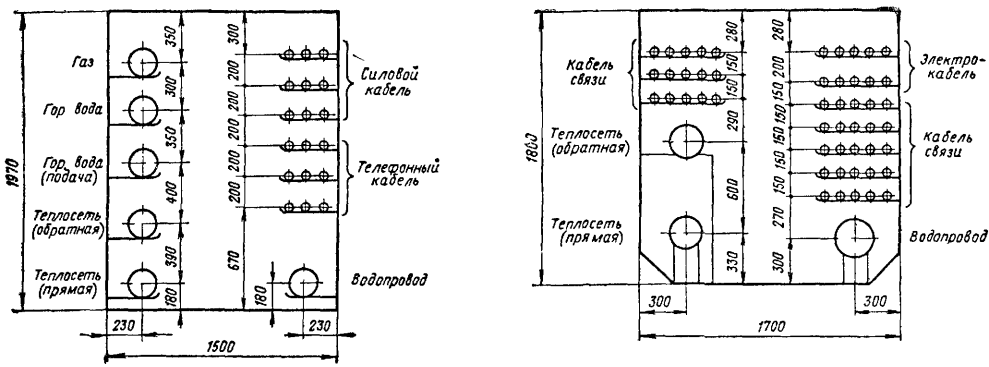


Рис. III.42

После укладки и гидравлического испытания водопроводных линий перед пуском их в эксплуатацию они должны быть промыты путем пропуска по ним воды с большой скоростью. Трубы большого диаметра, допускающие производство работ изнутри, должны быть перед промывкой очищены от возможных загрязнений вручную. В последнее время с успехом стали применять гидропневматическую промывку сети, дающую значительное сокращение времени промывки и расходов промывной воды.

Линии водопроводов хозяйственно-питьевого назначения должны быть, кроме того, подвергнуты дезинфекции. Для этого участок линии заполняют водой, содержащей 20—30 мг хлора на 1 л воды. Хлорирование линии должно продолжаться не менее суток. После дезинфекции сеть должна быть снова промыта.

Глава 10

АРМАТУРА И СООРУЖЕНИЯ НА СЕТИ

Наружные сети городских и промышленных водопроводов оборудуются различного рода арматурой, обеспечивающей их правильную эксплуатацию. На наружных водопроводных сетях применяются следующие основные типы арматуры:

* Альбом института Мосинжпроект, 1971.

а) запорная и регулирующая — задвижки, вентили и другие затворы;

б) водоразборная — уличные водоразборные колонки и краны, пожарные гидранты;

в) предохранительная — предохранительные и обратные клапаны и воздушные вантузы (для выпуска и впуска воздуха).

§ 41. ЗАПОРНАЯ И РЕГУЛИРУЮЩАЯ АРМАТУРА

При помощи задвижек, установленных на водопроводных линиях, можно, меняя степень их открытия, изменять расход воды в линиях и, в частности, прекращать в них движение воды для выключения на ремонт отдельных участков.

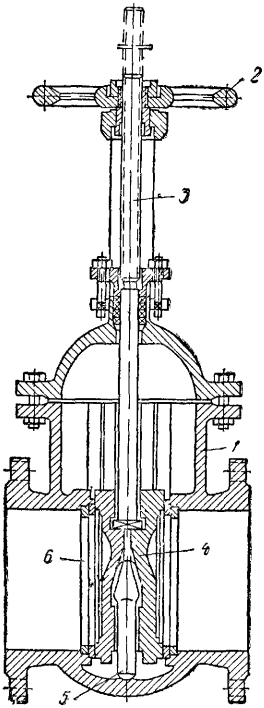


Рис III 43

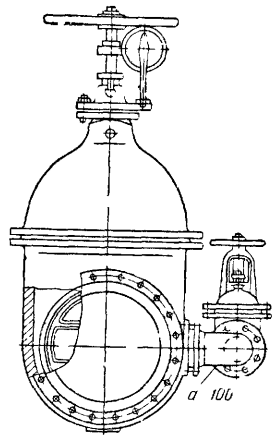


Рис III 44

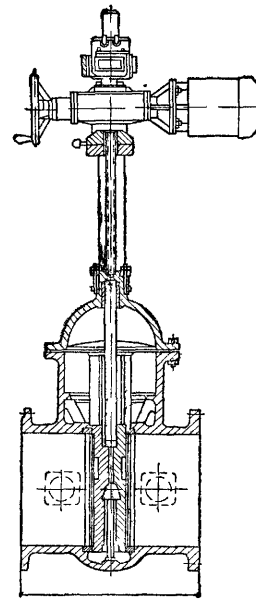


Рис III 45

Чтобы снизить возможность возникновения в трубах гидравлических ударов, устройство всей применяемой на сети запорной арматуры (в том числе и задвижек) основывается на принципе постепенного закрывания.

Используемые в практике задвижки по своей конструкции разделяются на параллельные (с параллельно расположенными запорными дисками) и клиновые (с одним запорным диском клинообразной формы). Имеются задвижки с выдвижным и невыдвижным шпинделем. В первых шпиндель при вращении маховика совершает поступательное движение, во вторых — только вращательное, ввинчиваясь в запорное приспособление.

На рис. III.43 показана задвижка одного из широко применяемых типов — параллельная с выдвижным шпинделем. Чугунный (при боль-

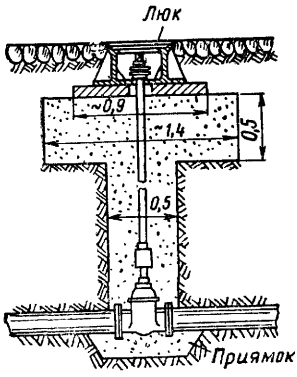


Рис. III.46

шом давлении стальной) корпус задвижки *1* имеет два фланца для присоединения к трубам. Вращая маховик *2*, связанный с вертикальным шпинделем *3*, имеющим винтовую нарезку, можно поднимать и опускать затворные диски *4*, закрывающие сечение трубы. При опускании шпинделя он давит на клин *5* (один или два), расположенный между дисками, и, прижимая их к уплотнительным кольцам *6*, обеспечивает герметичность задвижки. Когда шпиндель поднимается, клин также поднимается, перестает давить на диски и захватывает их при помощи специальных заплечиков, открывая сечение трубы. При открытой задвижке диски расположены в ее верхней части вне габаритов ствола задвижки и не препятствуют движению воды.

Задвижки разных конструкций изготовляются внутренним диаметром от 50 до 2000 мм. Задвижки крупных диаметров снабжены обводными линиями, на которых установлены задвижки меньших диаметров (рис. III.44). Эти задвижки надо открывать перед открыванием большой задвижки, чтобы уравнять давление по обе стороны диска и тем облегчить ее открытие.

Задвижки диаметром 600—1200 мм с ручным управлением изготовляются с редуктором в виде конической передачи, что значительно облегчает управление ими.

Открывание и закрывание задвижек крупных диаметров вручную требует значительных усилий и времени (более 1 ч). Применяют и механизированные задвижкии. На рис. III.45 показана электрифицированная задвижка; электродвигатель установлен на ее корпусе. Управлять такой задвижкой можно на расстоянии из центрального пункта.

Задвижки обычно устанавливают в колодцах, размеры и конструкции которых зависят от числа задвижек и их диаметра.

В некоторых наших и зарубежных городах применяется бесколодезная установка задвижек, снижающая стоимость оборудования водопроводной сети. На рис. III.46 показан общий вид бесколодезной установки задвижек, разработанной институтом ВОДГЕО. Для успешной эксплуатации таких задвижек монтаж конструкции должен быть выполнен весьма тщательно.

На рис. III.47 показано устройство так называемой кольцевой задвижки. Она открывается и закрывается путем передвижения внутренней конической части *А* вдоль оси задвижки, чем достигается постепенное увеличение или уменьшение площади кольца, через которое проходит вода. Управлять такой задвижкой значительно легче, чем задвижками описанных выше типов.

В последнее время получают широкое распространение дисковые поворотные затворы благодаря ряду их преимуществ по сравнению с задвижками: они легче, имеют меньшие габаритные размеры и дешевле. На рис. III.48 схематически показано устройство дискового поворотного затвора с электроприводом. Для открывания затвора диск поворачивается на 90° и плоскость его устанавливается параллельно оси трубы. Поворотные дисковые затворы изготовляются промышленностью для труб диаметром от 400 до 1600 мм (при давлениях 10 кгс/см^2).

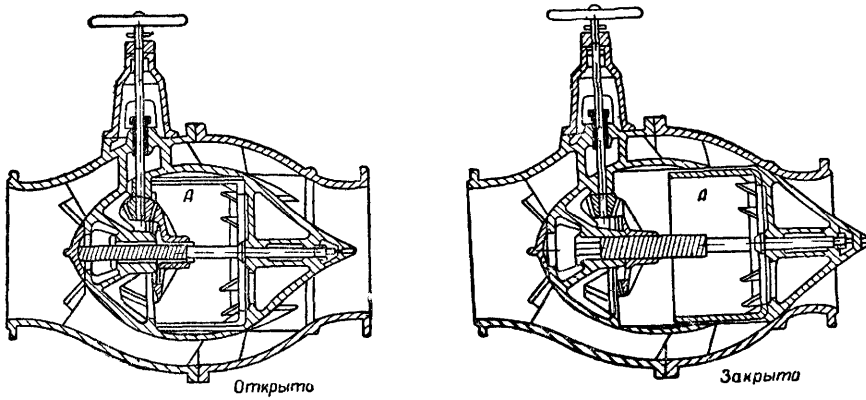


Рис. III 47

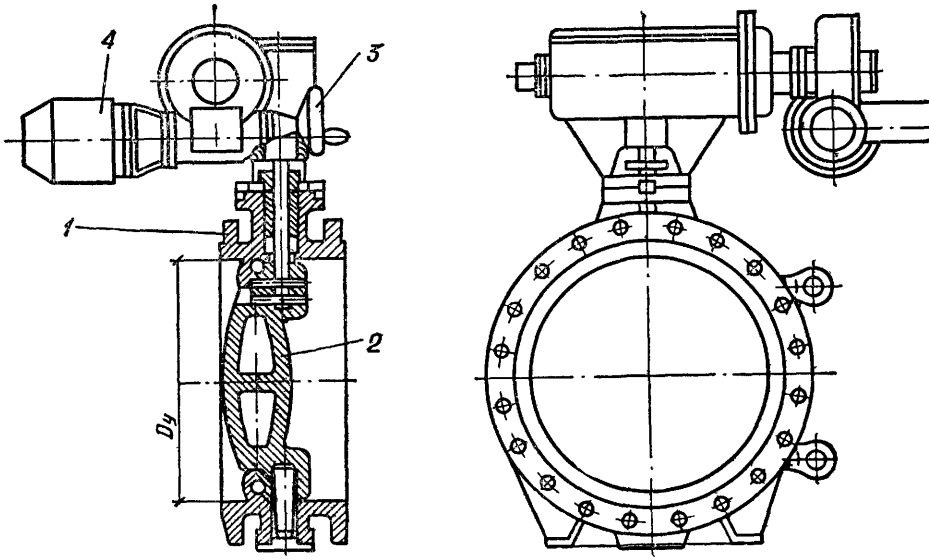


Рис. III 48

1 — корпус, *2* — поворотный диск; *3* — передача; *4* — электродвигатель

Для отключения труб домовых ответвлений небольшого диаметра употребляют вентили, описание которых дается в курсе «Водопроводно-канализационное оборудование зданий».

§ 42. ВОДОРАЗБОРНЫЕ КОЛОНКИ И КРАНЫ

Разбор хозяйственно-питьевой воды из сетей городских, поселковых и промышленных водопроводов, как правило, производится через внутренние водопроводные краны, установленные в жилых, общественных и промышленных зданиях. В некоторых случаях (в поселках временного типа, в еще неканализованных районах городов и т. п.) при отсутствии домовых вводов разбор воды осуществляется непосредственно из наружной сети через установленные на ней водоразборные краны (колонки).

На рис. III.49 показано устройство водоразборной колонки московского типа. Для получения воды необходимо нажать на рукоятку *1*, связанную штангой *2* с клапаном *3*, расположенным в нижней части ко-

лонки. Вода поступает в колонку через патрубок *4*, поднимается по трубе *5* и изливается из водоразборного отростка.

Вода, которая после каждого действия колонки стекает из подъемной трубы в сборный бачок *6*, при следующем действии засасывается эжектором *7*, действующим под давлением в водопроводной сети.

Колонка этого типа является наилучшей в санитарном отношении, так как обеспечивает полную герметичность сборника для воды, расположенного в нижней части колонки.

Водоразборные колонки устанавливают обычно на перекрестках или вдоль улицы на расстоянии около 200 м одну от другой. Для нормальной работы колонок московского типа давление в сети должно быть не менее 1—1,5 кгс/см^2.

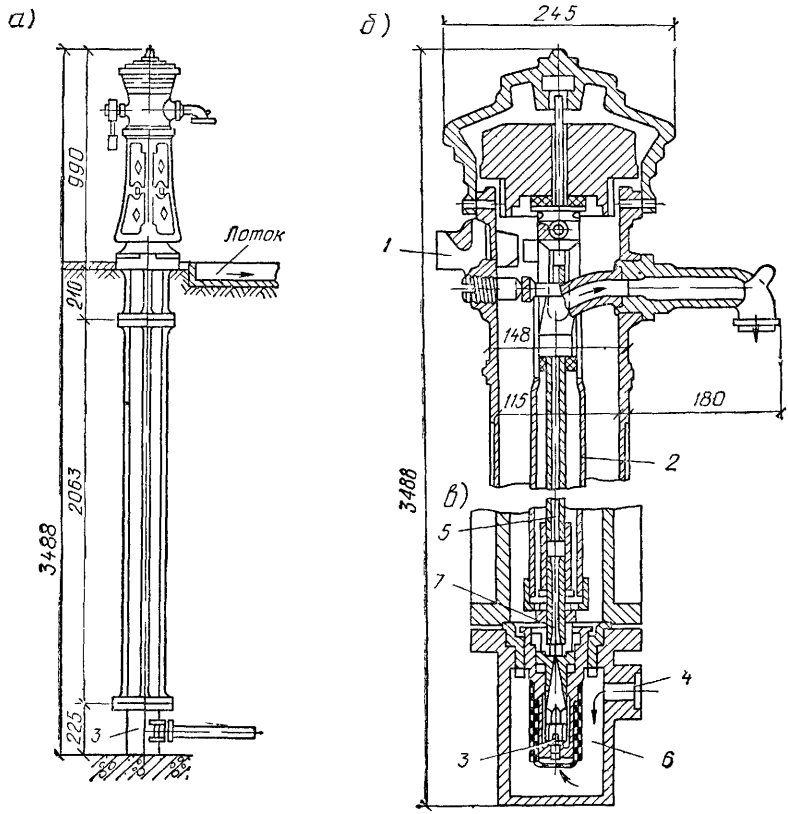


Рис III 49

Из водоразборных приспособлений специального назначения следует упомянуть:

а) питьевые колонки или фонтанчики, устанавливаемые для общественного пользования в летнее время в садах, парках, на бульварах, площадях и т. п.;

б) краны для поливки зеленых насаждений, представляющие собой обычно простые стояки из стальных труб с запорными вентилями; на зиму всю поливочную сеть выключают и воду из нее спускают.

Для поливки улиц, тротуаров, заводских дворов и проездов служат чаще всего ответвления от внутренних водопроводов, расположенные в специальных нишах в стенах зданий. Автоцистерны для поливки площадей и широких улиц наполняют обычно через пожарные гидранты.

§ 43. ПОЖАРНЫЕ ГИДРАНТЫ

Пожарные краны для наружного пожаротушения (гидранты) бывают подземные и наземные. Их устанавливают на наружной водопроводной сети. Более широкое применение имеют гидранты первого типа.

На рис. III.50, *а* показан подземный усовершенствованный пожарный кран диаметром 125 мм, исключающий возможность возникновения гидравлических ударов при его закрывании.

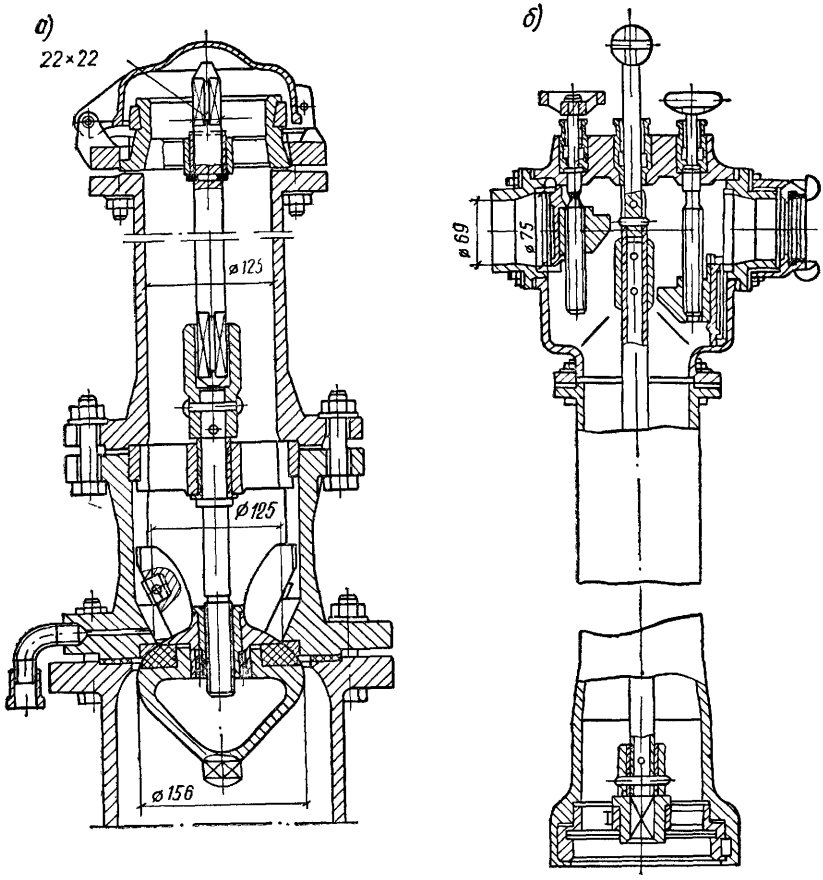


Рис. III.50

Пожарный гидрант представляет собой чугунную колонку, которая устанавливается на фланец пожарной подставки.

Гидранты подземного типа полностью размещаются в колодце. Высота гидранта зависит от глубины укладки труб, и для гидрантов московского типа колеблется в пределах от 500 до 2500 мм.

Верхняя часть подземного гидранта закрыта крышкой, вращающейся на шарнире. Для приведения в действие подземного гидранта работники прибывшей на место пожарной команды открывают люк колодца, поднимают крышку пожарного гидранта и устанавливают на последний наземную переносную часть — стендер (рис. III.50, *б*). Вращение рукоятки стендера передается вертикальному стержню, соединенному со стержнем гидранта, и заставляет его передвигаться в вертикальном на-

правлении для открывания или закрывания связанного с ним шарового клапана. Вода поднимается по колонке и подходит к патрубкам стендера, снабженным быстро соединяющимися гайками, обеспечивающими присоединение к патрубкам пожарных рукавов. Во избежание замерзания воды в нижней части колонки имеется отверстие для спуска воды после ее закрытия.

Стендер снабжен блокировочным устройством, которое не позволяет закрыть гидрант до того, как будут закрыты отверстия патрубков у стендера. Это предотвращает возникновение гидравлических ударов при закрывании гидранта.

Кроме гидрантов диаметром 125 мм изготовляются гидранты диаметром 75 мм. Устройство их проще, но конструкция менее совершенна. Так как расход воды, подаваемой этими гидрантами, значительно меньше расхода, подаваемого 125-миллиметровыми гидрантами, их применение допускается лишь при небольших расчетных расходах на тушение пожара (например, в поселках).

Пожарные гидранты устанавливаются на сети исходя из условий наиболее удобного пожаротушения обслуживаемых зданий. Согласно указаниям строительных норм гидранты следует устанавливать вдоль проездов на расстоянии не более 150 м один от другого, а также вблизи перекрестков.

§ 44. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА

К предохранительной арматуре, устанавливаемой на водоводах и водопроводных сетях, могут быть отнесены различные предохранительные клапаны, не допускающие повышения давления в трубах сверх установленных пределов, а также устройства для выпуска и впуска воздуха.

Основной причиной случайных повышений давления в трубах является возникновение в них гидравлического удара.

При эксплуатации современных систем водоснабжения (имеющих насосные станции, оборудованные центробежными насосами) гидравлический удар может возникнуть в результате:

а) остановки насосов (в случае прекращения подачи электрического тока);

б) быстрого закрытия задвижек или водоразборных кранов на сети.

Первая из указанных причин вызывает возникновение ударов в напорных водоводах. При этом ударная волна может вызвать недопустимое повышение давления и в сети.

Вторая причина может иметь место при неисправности пожарных гидрантов или при быстром выключении отдельных ремонтных участков.

Характер явления гидравлического удара существенно различен для указанных двух случаев его возникновения.

При прекращении подачи электрического тока к электродвигателю насоса вода в силу инерции продолжает некоторое время двигаться по водоводу (пока не закрыта задвижка на напорной линии). В результате давление в водоводе за насосом падает; при определенных условиях в водоводе может произойти разрыв сплошности потока (например, в месте резкого изменения уклона водовода).

После того как движение воды, происходящее по инерции, прекратится, вода начнет двигаться в обратном направлении — в сторону насоса и произойдет удар ее о закрывшийся автоматически обратный

клапан[1] (устанавливаемый на водоводе за насосной станцией) или о закрытую задвижку. В результате давление в водоводе повышается. Волна этого повышения распространяется по водоводу и может захватить некоторый район сети.

В случае, если в начале описанного явления в водоводе образуется разрыв сплошности потока, то может иметь место весьма значительное повышение давления от соударения оторвавшейся «колонны» воды и воды, оставшейся за местом разрыва сплошности.

К мероприятиям по борьбе с гидравлическими ударами указанного происхождения относятся:

а) установка специальных противоударных клапанов (в начале водовода — за обратным клапаном);

б) установка воздушных вантузов (см. далее) в местах вероятных разрывов сплошности потока для впуска воздуха и создания в водоводе воздушной подушки, смягчающей силу удара при соударении «колонн» воды.

Иногда может быть полезной установка обратных клапанов за возможными точками разрыва сплошности для предотвращения обратного движения оторвавшейся части потока.

Наконец, в качестве средства борьбы с гидравлическими ударами может быть использован обратный сброс воды через центробежные насосы — свободный (в том случае, если конструкция насосного агрегата это позволяет) или с торможением насоса.

Гидравлические удары по второй из указанных выше причин (недопустимо быстрое закрытие водоразборной или запорной арматуры) возникают реже, так как все конструкции современных задвижек и водоразборных приспособлений предусматривают их относительно медленное и плавное закрытие.

Удары такого рода обычно происходят лишь в результате неисправностей и повреждений арматуры (например, срыв шара в пожарных гидрантах).

К числу специальных **противоударных клапанов** относится «клапан-гаситель» системы Укр. ВОДГЕО (рис. III.51). Клапан-гаситель устанавливается на водоводе *1*, идущем от насосной станции, непосредственно за обратным клапаном *2* и предназначается для защиты водовода от действия ударов, возникающих в результате остановки насосов из-за прекращения подачи электрического тока. Рабочий цилиндр гасителя *3* соединен трубками *а* и *в* через распределитель *4* с водоводом перед обратным клапаном. При нормальной работе насосов создаваемое ими давление поддерживает клапан гасителя в закрытом положении. При остановке насосов давление перед обратным клапаном резко падает, клапан гасителя под действием перепада давлений в водоводе (после и до обратного клапана) открывается и вода сбрасывается из водовода по трубе *5*, чем предотвращается недопустимое повышение давления в водоводе. После открытия клапана-гасителя распределитель *4* соединяет цилиндр гасителя (через трубку *б*) с водоводом, и клапан гасителя начинает медленно закрываться. Скорость закрытия регулируется масляным тормозом *6*.

На рис. III.52 показан обычный **предохранительный клапан** (пружинный), не допускающий повышения давления в трубах сверх установленных пределов; такие же клапаны изготовляются рычажного типа.

Воздушные вантузы устанавливаются для удаления воздуха, скапли-

[1] Конструкции обратных клапанов приводятся в курсе «Насосы и насосные станции».

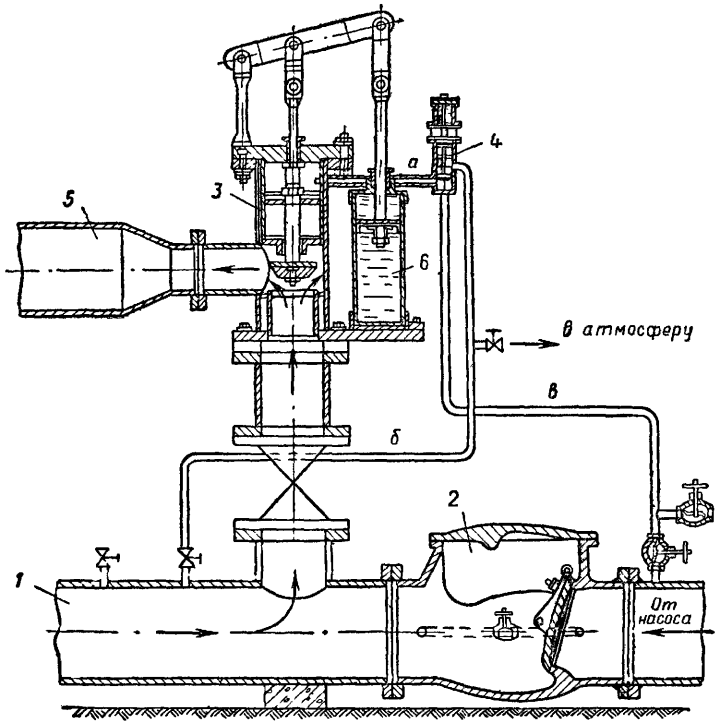


Рис. III.51

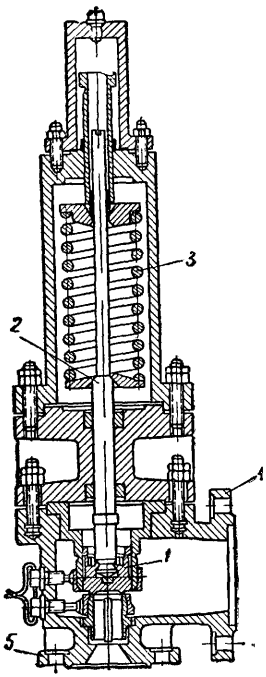


Рис. III.52

1 — клапан; *2* — шток; *3* — пружина; *4* — сбросной патрубок; *5* — соединительный фланец

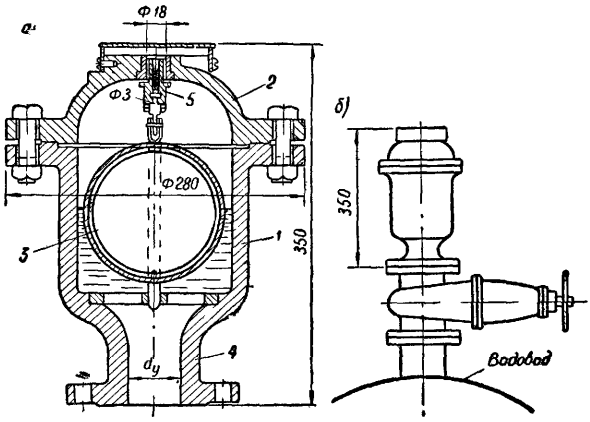


Рис. III.53

вающегося в возвышенных точках водоводов и магистральной сети, в особенности при пересечении ими водоразделов (т. е. при переходе восходящего уклона в нисходящий).

На рис. III.53 показано устройство одного из воздушных вантузов. В чугунном корпусе *1* с крышкой *2* помещается стальной полый шар *3* с вертикальным стальным штоком. Выделяющийся из воды воздух через патрубок *4* проходит в корпус вантуза и скапливается в его верхней части. При накоплении здесь воздуха и опускании вследствие этого уровня воды шар также опускается, открывая соединенный с ним клапан *5*, и воздух выходит наружу. После этого вода, заполняющая вантуз, поднимает шар и закрывает клапан. Вантуз размещают в колодце и соединяют патрубком *4* с вертикальным фланцевым отростком тройника, установленного в повышенной точке профиля водопроводной линии.

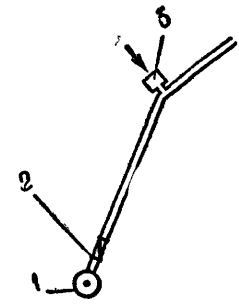


Рис. III 54
1 — насос; *2* — обратный клапан; *3* — вантуз

Диаметр вантуза при установке на трубах внутренним диаметром до 500 мм принимается равным 25 мм, а при бо́льших диаметрах труб — 50 мм.

Подобные же вантузы могут использоваться и для впуска воздуха в водовод при образовании в нем пониженных давлений или разрыва сплошности потока при гидравлических ударах.

На рис. III.54 приведена схема установки на водоводе вантуза для впуска воздуха в месте резкого изменения уклона водовода, т. е. в месте вероятного разрыва сплошности потока.

В мировой практике имеется много разнообразных конструкций подобных приборов.

§ 45. ДЕТАЛИРОВКА СЕТИ

При проектировании наружной водопроводной сети после определения диаметров и выбора материала труб производят деталировку всех узлов сети. Деталировка дается на рабочих чертежах, где условными обозначениями наносят арматуру и фасонные части, из которых должны монтироваться отдельные узлы сети. Правильное конструирование узлов и рациональное использование существующего сортамен-

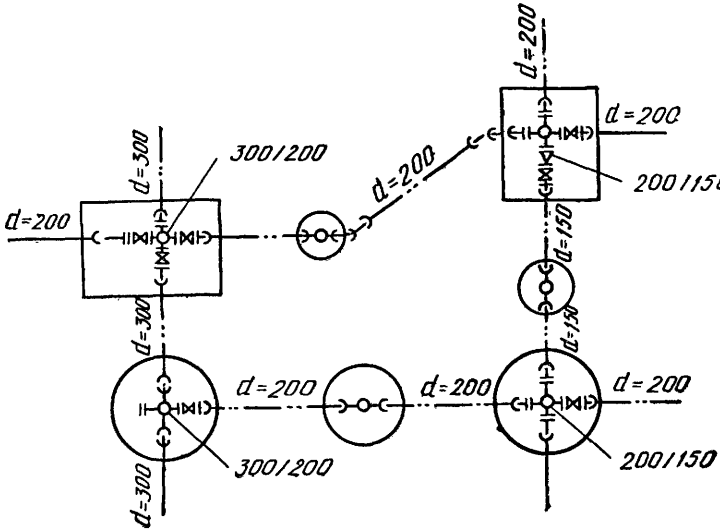


Рис. III.55

та фасонных частей удешевляет устройство сети и уменьшает размеры колодцев. При составлении деталировки сети прежде всего намечают места установки задвижек и пожарных кранов. После этого приступают к подбору фасонных частей, из которых монтируются отдельные узлы.

На рис. III.55 дан пример деталировки одного кольца сети.

На основании деталировки составляют спецификацию фасонных частей и арматуры, требуемых для устройства сети.

§ 46. КОЛОДЦЫ НА СЕТИ

Как было указано ранее, водопроводная арматура, устанавливаемая на сети, располагается обычно внутри специально устраиваемых для этого колодцев. Размеры колодцев в плане зависят от диаметра труб, а также от арматуры и фасонных частей, помещаемых в колодце. Глубина колодцев зависит от принятой глубины заложения труб (в соответствии с глубиной промерзания грунта).

Колодцы бывают железобетонные, кирпичные, в отдельных случаях из бутового камня. Для временных водопроводов иногда устраивают деревянные колодцы.

Наиболее совершенны и экономичны при массовом строительстве сборные железобетонные колодцы, которые монтируют из деталей, изготовляемых на заводах железобетонных изделий.

На рис. III.56 показаны круглые в плане сборные железобетонные колодцы диаметром 1,5 м двух типов: с конусной переходной частью к горловине (рис. III.56, *а*) и с плоским перекрытием (рис. III.56, *б*). Форма нижнего кольца изменяется в зависимости от числа труб, примыка-

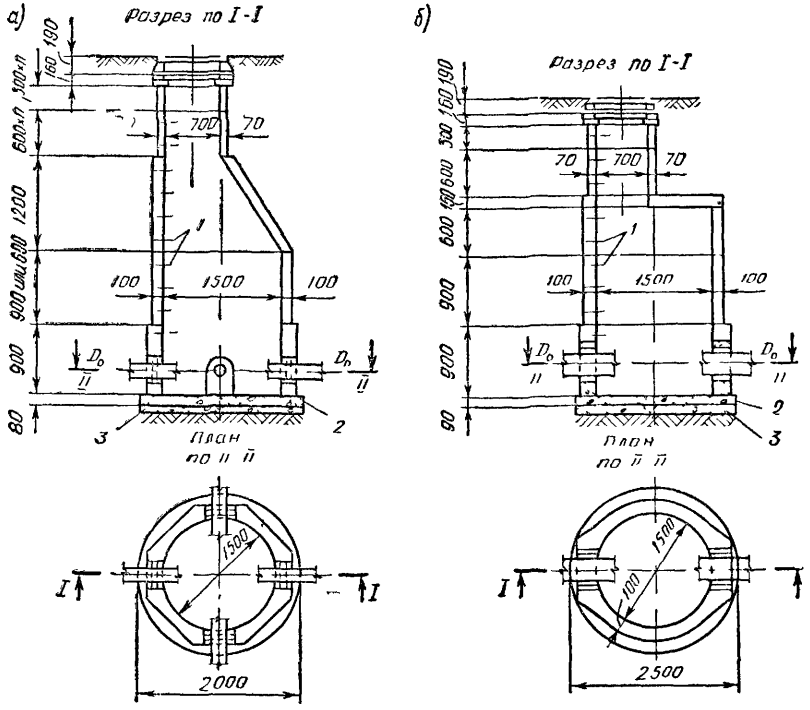


Рис. III 56

1 — скобы; *2* — бетон марки 50(80 мм) *3* — щебень, втрамбованный в грунт (50 мм)

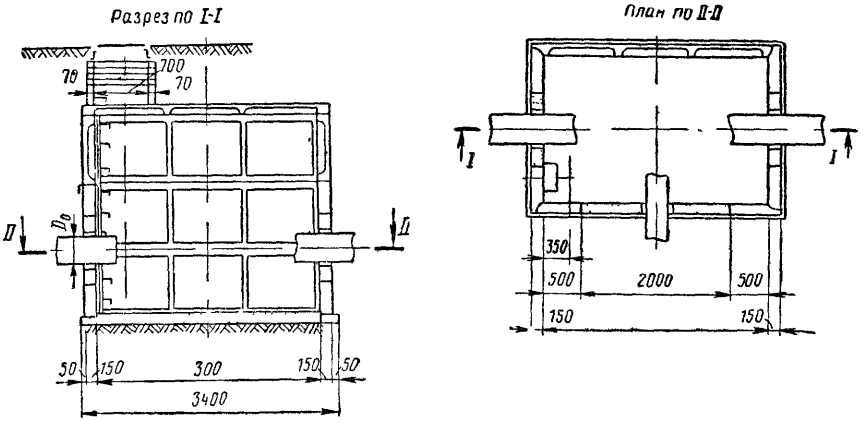


Рис. III 57

ющих к колодцу. Такие колодцы устраивают диаметром от 1 до 3 м (по различным типовым проектам); число деталей зависит от требуемой глубины колодцев. Для колодцев диаметром 1—1,5 м используют стандартные кольца.

На рис. III.57 показан прямоугольный сборный железобетонный колодец (из панелей) одного из существующих типов.

При устройстве колодцев в мокрых грунтах поверхность их стенок в пределах водоносного пласта покрывают цементной штукатуркой с алюминатом натрия и обмазывают битумом, а в днище поверх слоя щебня и бетона укладывают 30-сантиметровую цементную стяжку с двухслойной обмазкой битумом и железобетонную плиту.

Использование сборного железобетона (вместо кирпича) в строительстве сооружений такого массового типа, как сетевые колодцы, дает значительное сокращение сроков их строительства.

§ 47. УПОРЫ И КОМПЕНСАТОРЫ

Внутреннее давление воды обусловливает появление в напорных водопроводных трубах сил, направленных нормально к их стенкам и вызывающих в их материале растягивающие напряжения. На прямых участках линий труб никаких сил, направленных вдоль их оси, не возникает. Они появляются в местах поворота линий, а также в некоторых узлах сети, в частности в местах ответвлений, на концах тупиковых участков и т. п.

На рис. III.58 схематически изображено действие сил внутреннего давления воды на колена (*а*), отводы (*б*), тройники (*в*) и заглушки (*г*). Эти силы действуют вдоль осей труб и передаются на стыковые соединения. Стыки раструбных труб не рассчитаны на сопротивление продольным растягивающим усилиям, и для них в указанных случаях необходимо устраивать упоры, воспринимающие эти усилия. Особенно важно предусмотреть устройство упоров для труб большого диаметра, в которых силы, воздействующие на стык, могут быть весьма значительными.

Упоры выполняются конструктивно в виде бетонных, кирпичных или бутовых массивов, в которые упираются соответствующие фасонные части. Упоры можно устраивать как в колодцах, так и прямо в земле.

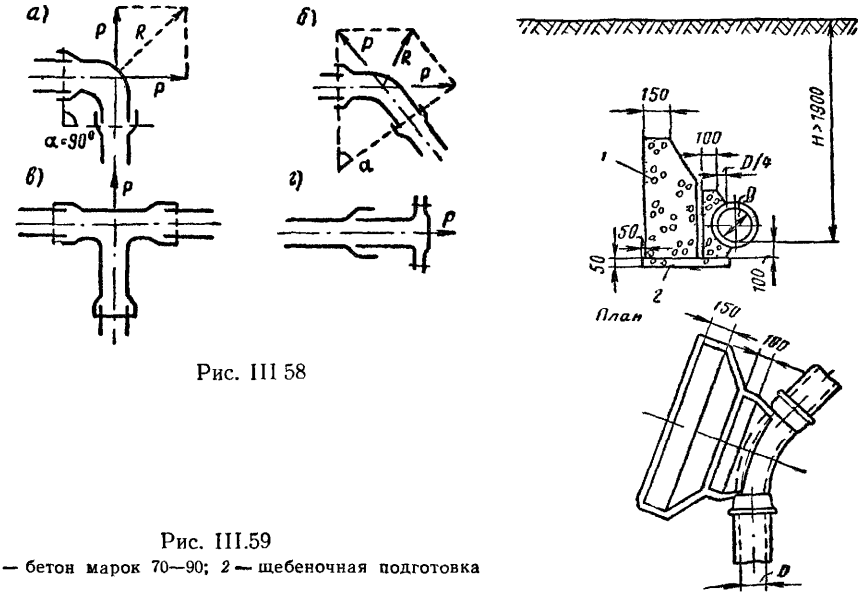


Рис. III 58

Рис. III.59

1 — бетон марок 70—90; *2* — щебеночная подготовка

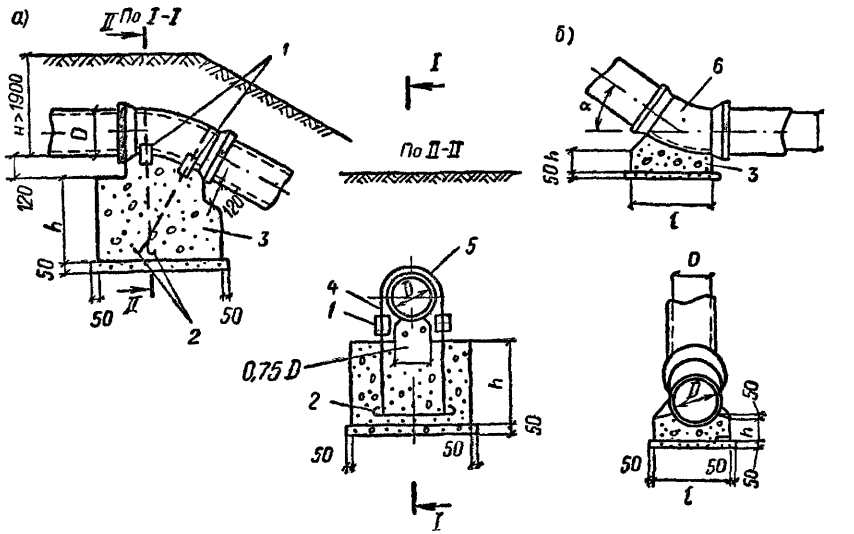


Рис. III.60

1 — стяжные стальные муфты; *2* — штыри; *3* — бетон марок 70—90; *4* — стальной анкерный болт; *5* — стальной хомут; *6* — чугунный отвод (α=30... 45°)

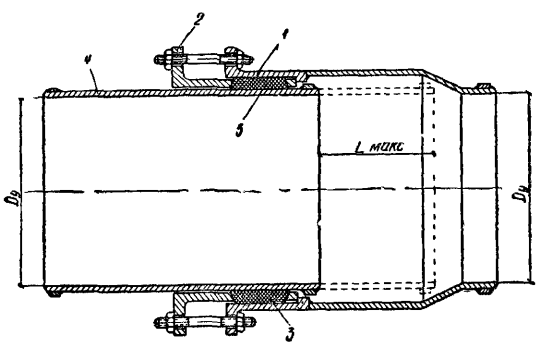


Рис. III.61

1 — корпус сальника; *2* — фланец сальника; *3* — сальниковая набивка; *4* — цилиндр: $L_{макс}$ — наибольшая длина компенсации; D_y — условный проход трубопровода

На рис. III.59 приведен пример устройства бетонного упора для отводов при повороте линий труб диаметром 250—400 мм в горизонтальной плоскости.

При изменении направления трубы в вертикальной плоскости также необходимо устраивать упоры с учетом направления действия силы давления. Пример устройства таких упоров для труб диаметром до 400 мм при усилии, направленном вверх, показан на рис. III.60, *а*, а при усилии, направленном вниз, — на рис. III.60, *б*.

Компенсаторы представляют собой устройство, воспринимающее температурные удлинения металлических трубопроводов (рис. III.61); их ставят в тех случаях, если стыки труб сами не компенсируют соответствующие перемещения. Компенсаторы следует устанавливать на стальных трубопроводах, прокладываемых в туннелях или на эстакадах, при укладке труб в просадочных грунтах, при подземной прокладке линий из стальных труб со сварными стыками, при жесткой заделке стальных труб в стенки колодцев, резервуаров, баков. Сальниковые компенсаторы изготовляются диаметром от 100 до 1000 мм на внутренние давления до 16 кгс/см^2.

§ 48. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ВОДОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ С ДОРОГАМИ, РЕКАМИ И ОВРАГАМИ

При пересечении водопроводных линий с путями железных дорог прокладка труб непосредственно в земле не допускается, так как разрыв или повреждение их может вызвать размыв железнодорожного полотна. Поэтому трубы прокладывают в специальных туннелях или футлярах (кожухах). Те и другие в случае разрыва водопроводной трубы позволяют отвести воду из-под путей и произвести ремонт линии без повреждения полотна и перерыва в движении.

На рис. III.62 показано устройство перехода водопроводной линии под железнодорожными путями. Стальные трубы уложены в футляре.

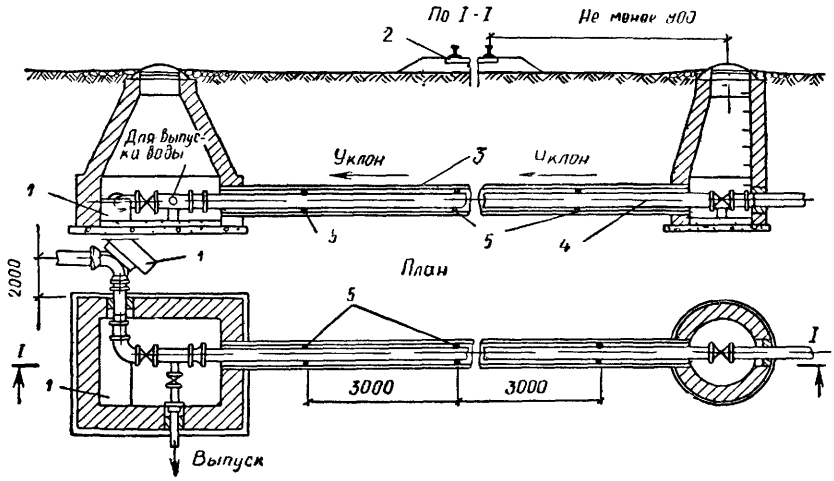


Рис. III.62

1 — упор; *2* — железнодорожный путь; *3* — кожух (футляр) из стальных труб; *4* — стальная труба; *5* — опоры для труб

Концы футляра расположены в колодцах, в которых установлены задвижки, служащие для выключения линии. Футляр выполнен из стальных труб большего, чем водопроводные трубы, диаметра. Для ремонта труб их приходится извлекать из футляра, что должно быть предусмотрено при устройстве одного из колодцев (левый колодец на рисунке). Футляр должен иметь уклон к одному из колодцев для слива воды из труб при авариях. На трубе должно быть предусмотрено устройство выпуска.

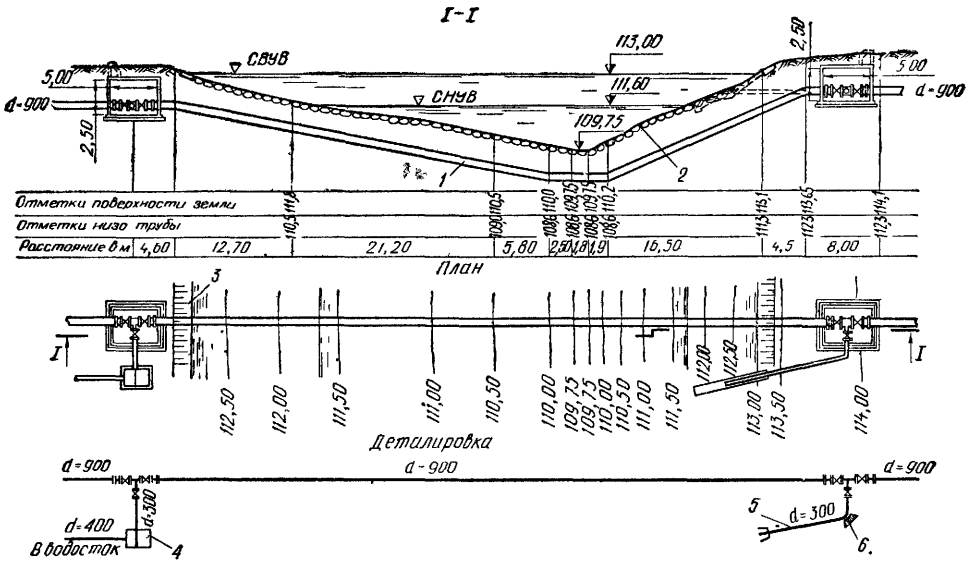


Рис. III.63

1 — сварной трубопровод диаметром 900 мм; *2* — каменная наброска; *3* — берегоукрепление; *4* — водобойный колодец, *5* — выпуск; *6* — упор

Переход водопроводных труб через реки может быть осуществлен по мосту (с использованием существующих, а в отдельных случаях с устройством специальных мостов), а также по дну реки. При переходе водопроводной линии по мосту трубы подвешивают к проезжей части моста с обеспечением доступа к ним для осмотра и ремонта.

Для переходов следует применять стальные трубы. Чтобы предотвратить замерзание воды в трубах, их необходимо утеплять. Для утепления трубы могут быть заключены в короб, заполняемый теплоизоляционным материалом. Применяют также обертывание труб различными изолирующими материалами в несколько слоев с устройством внешней изоляции из толя или кровельной стали.

При переходе по дну водоема трубопровод укладывают в виде дюкера (рис. III.63). Так как дюкер после его сооружения недоступен для осмотра и ремонта, его следует устраивать особенно тщательно и прочно. Для дюкера применяют линии из стальных труб повышенной прочности со сварными стыками, усиленными муфтами. Дюкер собирают и сваривают на поверхности (на плотах, подмостях, на льду и т. п.) и погружают целиком в траншею, заготовленную на дне водоема путем подводного землечерпания. В последнее время с успехом применяют устройство дюкеров способом так называемого «протаскивания». По этому способу дюкер собирают на берегу и в готовом виде протаскивают тро-

сами по дну на место при помощи трактора или лебедки. Оба конца дюкера должны заканчиваться в специальных колодцах с устройством в них соответствующих переключений.

Глава 11

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВОДЫ ОТ ИСТОЧНИКА К ОБЪЕКТУ ВОДОСНАБЖЕНИЯ (ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА)

§ 49. МЕТОДЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВОДЫ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ

Выбор метода транспортирования воды и соответственно типов транспортирующих сооружений зависит от характера природного источника, степени его удаленности от объекта, местных топографических условий и количества транспортируемой воды.

Все практически используемые типы транспортирующих воду сооружений могут быть разделены на две основные группы: а) нагнетательные водоводы; б) гравитационные (или самотечные) водоводы и каналы. В сооружениях первой группы подача воды осуществляется насосами. В сооружениях второй группы движение воды происходит под действием силы тяжести.

В некоторых случаях взаимное расположение источника и объекта водоснабжения, а также характер рельефа местности вызывают необходимость использования того или иного принципа подачи воды на отдельных участках трассы водовода.

По характеру движения воды (по характеру гидравлической работы) все транспортирующие воду сооружения могут быть разделены на напорные водоводы (работающие полным сечением) и безнапорные водоводы (имеющие свободную поверхность воды).

Безнапорные водоводы могут быть выполнены в виде открытых каналов, вырытых в земле, или в виде закрытых каналов (различных конструкций и из различных материалов), работающих неполным сечением.

Использование гравитационного метода подачи воды дает большие экономические преимущества, так как позволяет значительно снизить расходы на эксплуатацию системы водоснабжения. Очевидно, что применять этот метод транспортирования воды для водовода в целом можно лишь при условии, если отметка уровня воды используемого водоема превышает отметку точки, в которую должна быть подана вода. Однако и при соблюдении этого условия наличие значительных возвышенностей по трассе водовода может потребовать подъема воды насосами для переброски ее через эти возвышенности.

Для схемы, представленной на рис. III.64, где отметка уровня используемого водоема *А* значительно превышает отметку земли у объекта *Б*, гравитационная подача воды потребовала бы устройства весьма длинных туннелей (aa_1 или aa_2), сильно удорожающих строительство. Подъем воды насосами до резервуара *б*, установленного на наивысшей точке пересекаемой возвышенности, позволит избежать устройства туннелей. При таком решении на участке *аб* будут нагнетательные водоводы, а от точки *б* до объекта — гравитационные водоводы.

В ряде случаев удается использовать гравитационный метод подачи воды на всем протяжении трассы водовода. При этом применение безнапорных каналов возможно лишь при относительно равномерном и незначительном уклоне местности вдоль трассы водовода. В этих ус-

ловиях можно обеспечить требуемый постоянный уклон безнапорного канала без устройства дорогостоящих глубоких выемок и сооружений для перехода пониженных мест.

Выбор типа и конструкции безнапорного канала определяется экономическими соображениями и местными условиями, а в известной степени и требованиями к качеству воды.

Открытые каналы представляют собой относительно дешевые (на единицу длины) сооружения для транспортирования больших количеств воды.

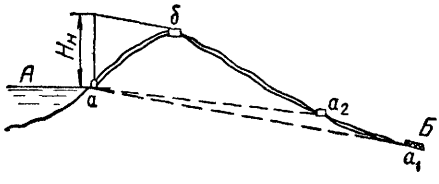


Рис. III.64

Недостатками открытых каналов являются:

а) большой процент потерь воды, в основном на фильтрацию и частично на испарение;

б) зарастание их водной растительностью и цветение воды;

в) возможность загрязнения воды поверхностными стоками и через воздух;

г) нагревание воды летом и замерзание ее зимой.

Для подачи питьевой воды (чистой природной или очищенной) открытые каналы не должны применяться.

Закрытые безнапорные каналы являются более дорогими сооружениями, но потери воды в них значительно меньше, они предохраняют воду от загрязнения и развития растительности и обеспечивают почти постоянную температуру воды на всем пути ее подачи от источника к объекту.

При наличии достаточной для обеспечения движения воды разности отметок в начальной и конечной точках водовода, но в условиях относительно пересеченного рельефа местности часто оказывается более рентабельным использование напорных гравитационных водоводов, т. е. водоводов, работающих полным сечением. По условиям своей гидравлической работы эти водоводы аналогичны нагнетательным водоводам, их конструкция должна обеспечить сопротивление разрывающим усилиям от внутреннего давления воды.

Так как напорные водоводы допускают практически любое изменение уклона по длине трассы, использование их часто позволяет значительно сократить общую длину водовода.

В современной практике водоснабжения местные природные источники воды часто оказываются недостаточными для удовлетворения потребностей крупных городов и промышленных предприятий (особенно в относительно маловодных местностях) и приходится использовать весьма удаленные источники, расположенные за десятки, а иногда и сотни километров от объектов. В этих условиях значение транспортирующих воду сооружений и удельный вес затрат на их строительство в общей стоимости системы водоснабжения значительно возрастают. Выбор наиболее экономичного варианта подачи воды приобретает особо важное значение. Этот выбор производится, как правило, на основе тщательного изучения местных условий (топографии и геологии по возможным трассам водовода) и технико-экономического сравнения различных вариантов.

При всех условиях транспортирующее воду сооружение должно обеспечивать надежность и бесперебойность снабжения объекта водой. Для этого необходимо, чтобы его конструкция сводила к минимуму опасность возникновения аварий. Длинные водоводы, как правило, прокла-

дывают в одну линию. Поэтому в конце водовода должны быть устроены запасные емкости такого объема, который может обеспечить питание объекта водой во время ликвидации аварии или проведения ремонта.

При относительно малой длине водовода требуемая надежность водообеспечения потребителей может быть достигнута с меньшими затратами путем строительства его из двух параллельно работающих линий (вместо устройства запасных емкостей). В ряде случаев наличие двух или нескольких параллельно работающих линий водовода является следствием постепенного развития системы водоснабжения в соответствии с ростом водопотребления объекта.

Практика транспортирования воды дает примеры широкого использования всех перечисленных здесь типов сооружений.

Для обеспечения водой промышленности и населенных мест центрального района Донбасса построен открытый водопроводный канал, забирающий воду из р. Северский Донец. Канал имеет длину 132 км и рассчитан на подачу расхода 25 м³/с. Рельеф местности вызвал необходимость устройства на канале четырех насосных станций, поднимающих воду на общую высоту около 250 м. Вода, забираемая из канала для городских водопроводов, подвергается соответствующей очистке.

В 1961 г. закончено строительство другого крупного открытого водопроводного канала, подающего воду из р. Днепр (от Каховского водохранилища) для нужд промышленности и населения Криворожья. Канал протяжением 57 км рассчитан на подачу расхода до 41 м³/с.

Еще более мощный водопроводный открытый канал построен для подачи воды из р. Иртыш в центр Карагандинского района. Его общая протяженность около 500 км и расчетный расход около 75 м³/с. На канале устроен ряд перекачивающих насосных станций и ряд водохранилищ.

Как уже было сказано, современная система водоснабжения Москвы включает канал им. Москвы (длиной 128 км), который служит одновременно для нужд судоходства и для подачи воды из р. Волги. Канал этот подает воду в подмосковные водохранилища, откуда она по специальным водопроводным открытым каналам поступает к очистным станциям.

Примером весьма большого безнапорного закрытого канала может служить Баку-Шолларский водовод, пущенный в эксплуатацию в 1917 г. Водовод использует воды Шолларских родников. Общая его протяженность от источника до городских резервуаров 185 км. Из них первые 147 км выполнены в виде закрытого безнапорного бетонного канала овоидального сечения (1,2×1,7 м). Далее вода подается насосами по нагнетательному водоводу длиной 18 км в распределительную камеру и по самотечным бетонным водоводам (длиной 20 км) подводится к городским резервуарам.

В 1951 г. был введен в эксплуатацию второй бакинский безнапорный закрытый водовод, идущий почти параллельно первому и подающий подземные воды из района Хачмас.

В качестве примера широкого использования безнапорных закрытых каналов для городского водоснабжения в зарубежной практике может служить система самотечных водоводов Парижа (протяженность каждого 100—130 км), подающих подземные воды из различных районов.

Развитие технологии производства напорных труб обусловливает все более широкое применение напорных гравитационных водоводов. Подобные водоводы значительной протяженности использованы при строительстве ряда крупных систем водоснабжения у нас и за рубежом.

§ 50. БЕЗНАПОРНЫЕ ВОДОПРОВОДНЫЕ КАНАЛЫ

Открытые каналы. Открытые водопроводные каналы по своему устройству и методам расчета весьма близки к каналам оросительных систем.

Трассу канала выбирают на основании данных топографических и геологических изысканий. Канал должен иметь по возможности равномерный уклон на всей длине. Величина уклона, непосредственно связанная со скоростью движения воды в канале, лимитируется целым рядом условий. Слишком малые уклоны и, следовательно, малые скорости приводят (при заданном расходе) к увеличению площади поперечного сечения канала и тем самым к увеличению его строительной стоимости. Кроме того, при малых скоростях может происходить заиление и зарастание канала. Слишком большие уклоны могут вызвать возрастание скоростей до пределов, опасных в отношении размыва канала.

Верхние пределы расчетной скорости движения воды в канале зависят от характера грунтов, в которых проходит канал, наличия и характера креплений или одежды стенок и дна канала. В каналах без облицовки расчетная скорость обычно близка к 0,6—0,7 м/с. В облицованных каналах скорость значительно выше и составляет 1,5—2 м/с и более.

Поперечное сечение канала чаще всего имеет трапецеидальную форму; лишь иногда в (скальных грунтах) ему придают форму прямоугольника. Коэффициент откосов (отношение заложения к высоте) канала трапецеидального сечения зависит от характера грунта, а также от наличия и способа крепления откосов. Обычно коэффициент откосов принимают в пределах от 1,5 до 3.

Чтобы выдержать заданный продольный уклон канала, его приходится прокладывать на отдельных участках в зависимости от рельефа местности в выемке, на нулевых отметках (с частичным обвалованием) или даже в насыпи.

Строить канал без облицовки его стенок и дна можно только в плотных слабопроницаемых грунтах, где потери воды на фильтрацию относительно невелики.

Облицовка каналов устраивается в целях снижения фильтрационных потерь, предохранения их от размыва и оползания откосов, снижения шероховатости поверхности их стенок, а также предотвращения зарастания канала водной растительностью. В отдельных случаях облицовка может служить для защиты канала от поступления в него загрязненных почвенных вод.

В водопроводных каналах применяют следующие виды облицовок: гравийные отсыпки; мощение; битумное покрытие; глинистые экраны; бетонные и железобетонные покрытия.

Два первых типа одежды служат в основном для защиты откосов каналов от размыва и обрушения, остальные — для борьбы с фильтрацией.

На рис. III.65, *а* показан поперечный профиль канала Северский Донец — Донбасс на участке с облицовкой железобетонными плитами, а на рис. III.65, *б* — на участке с креплением стенок щебнем.

Для снижения стоимости строительства водопроводных открытых каналов их обычно устраивают в одну линию.

При строительстве канала и для обеспечения его нормальной эксплуатации на нем требуется устройство ряда сооружений.

Пересечение каналом пониженных мест трассы, оврагов, рек, а также дорог осуществляется при помощи дюкеров, представляющих собой

напорные гравитационные водоводы из железобетонных или металлических труб. Их обычно укладывают в две параллельные линии (это увеличивает надежность работы). В отношении характера работы и методов гидравлического расчета эти дюкеры аналогичны дюкерам, широко применяемым в системах канализации. В оголовках дюкеров устанавливают приспособления для выключения отдельных линий дюкеров при ремонте и прочистке, а в верхней камере устанавливают сороудерживающую решетку.

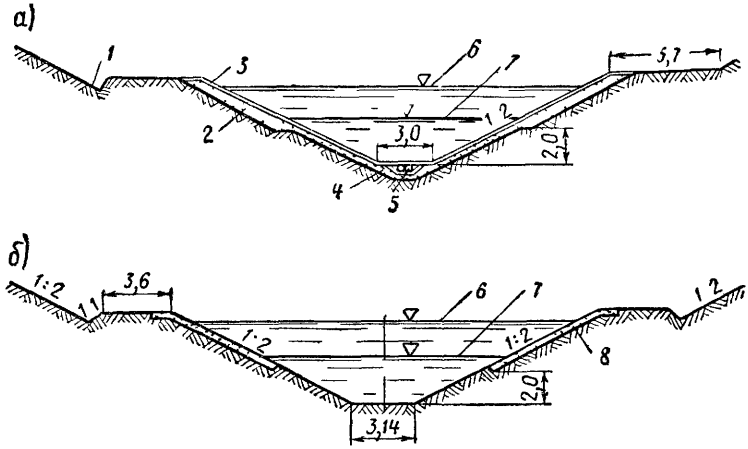


Рис. III.65

1 — нагорная канава; *2* — песчаная засыпка 0,4 м; *3* — железобетонная облицовка, *4* — песчаная подготовка 0,2 м; *5* — дренаж, *6* — летний уровень; *7* — зимний уровень; *8* — крепление щебнем

В отдельных случаях переход канала через реки и овраги осуществляется в виде мостов — акведуков.

На канале через некоторые расстояния устанавливают перегораживающие сооружения, позволяющие не только выключать отдельные участки его на ремонт (и даже полностью закрывать канал), но и регулировать уровень воды в нем по мере необходимости (например, обеспечивать подпор в условиях зимнего режима).

Выше каждого перегораживающего сооружения должен быть устроен автоматически действующий водосброс для предохранения вышележащих участков канала от переполнения.

В местах резкого изменения отметок местности по трассе канала устраивают перепады или быстротоки.

Весьма часто (например, при пересечении каналом водораздела) рельеф местности вызывает необходимость устройства канала в несколько ступеней с местными подъемами воды насосами. Такой характер имеет, например, продольный профиль канала Северский Донец — Донбасс (рис. III.66).

Насосные станции на каналах значительно отличаются от обычных водопроводных насосных станций. В ряде случаев эти станции должны поднимать весьма большое количество воды на относительно малую высоту («перевальные» станции). В них широко используются осевые центробежные насосы. На рис. III.67 показан схематически продольный разрез такой «перевальной» станции, построенной на канале Днепр — Кривой Рог. Станция рассчитана на подъем воды в количестве около 35 м³/с на высоту до 4,5 м.

Как уже было сказано, водопроводные каналы, особенно длин-

ные, прокладывают обычно в одну линию в целях снижения их строительной стоимости. В этих условиях бесперебойное снабжение водой объекта может быть обеспечено лишь при наличии в конце канала резервных емкостей объемом, достаточным для удовлетворения потребностей объекта на время, необходимое для ремонта или ликвидации ава-

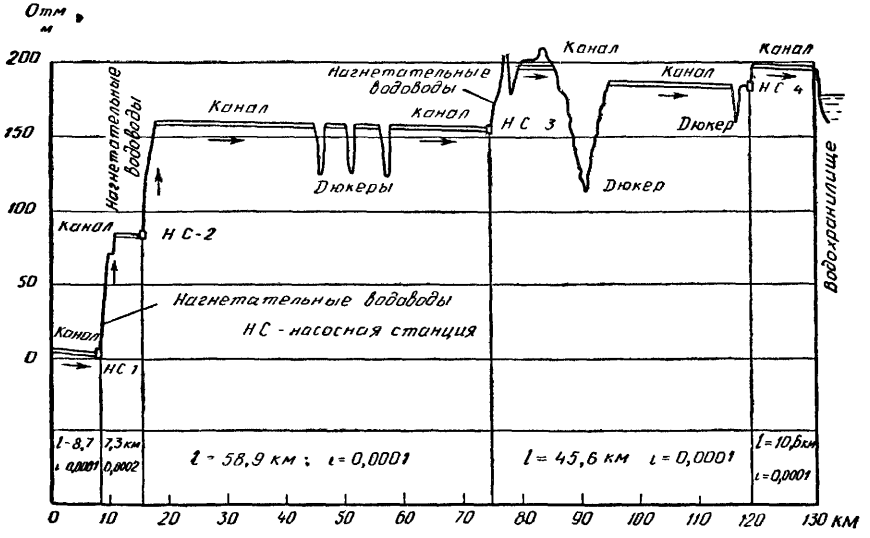


Рис. III.66

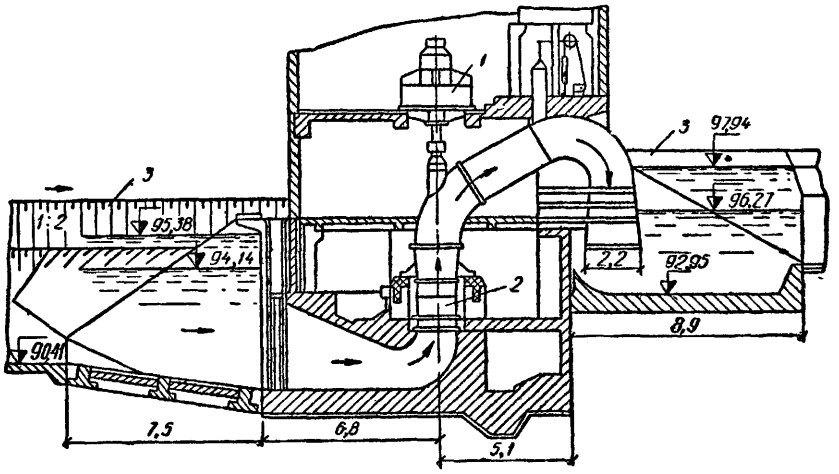


Рис. III.67

1 — электродвигатель; *2* — насос; *3* — канал

рии на канале. В качестве такой емкости все чаще используются водохранилища, образуемые плотинами на реках и ручьях, пересекаемых каналом. Во многих каналах значительная часть их общей длины приходится на водохранилища. Устройство водохранилищ на канале позволяет в ряде случаев намного уменьшить объем работ по строительству самого канала. Водохранилища используются не только как резервные емкости, но одновременно и как осадочные бассейны, задержива-

ющие взвешенные вещества, которые содержатся в подаваемой воде.

Закрытые каналы. Закрытые безнапорные каналы используются для подачи чистой природной или уже очищенной воды.

По конструктивному оформлению и условиям гидравлической работы водопроводные закрытые каналы весьма близки к коллекторам канализации.

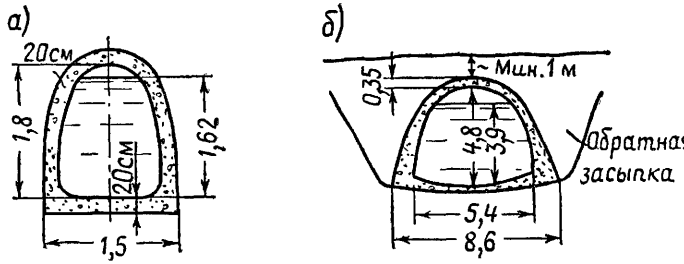


Рис. III.68

а — сечение одного из водоводов Тбилиси шатровой формы; *б* — сечение водовода Лос-Анджелеса подковообразной формы

Раньше закрытые каналы почти всегда строили из кирпича; в настоящее время их выполняют в основном из бетона или железобетона. Железобетонные каналы бетонируются на месте или монтируются из сборных элементов.

Форма поперечного сечения закрытых безнапорных каналов весьма разнообразна (рис. III.68); наиболее часто применяются каналы овоидальной, лотковой и круглой формы. В зарубежной практике весьма распространена подковообразная форма поперечного сечения закрытых каналов. Форма сечения должна обеспечивать хорошие гидравлические характеристики канала и хорошее его сопротивление давлению грунта на участках, где он проходит в земле.

Расчетная степень наполнения каналов (отношение глубины потока воды к высоте канала) принимается обычно в пределах от 0,75 до 0,9. Так как каналы рассматриваемого типа не рассчитываются на напорный режим работы (т. е. на разрывающие усилия от внутреннего давления воды), то установленная степень наполнения должна гарантировать невозможность образования в канале подпора.

На безнапорных закрытых каналах (так же как и на открытых) для перехода оврагов, рек и долин устраивают дюкеры (участки напорных самотечных линий) и в отдельных случаях мосты — акведуки. Кроме того, эти каналы также оборудуются перегораживающими сооружениями и сооружениями для сброса воды в целях предохранения канала от переполнения. При пересечении безнапорными закрытыми каналами возвышенностей широко используются туннели.

§ 51. НАПОРНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОДОВОДЫ

При сильно пересеченном рельефе местности по трассе самотечного водовода использование безнапорных каналов (как открытых, так и закрытых) становится затруднительным. Обеспечение надлежащего постоянного уклона канала (соответствующего уклону свободной поверхности воды в канале) требует в этом случае выполнения значительного объема земляных работ; количество сооружений в местах пересечения каналом долин, оврагов и возвышенностей (т. е. дюкеров, мостов, туннелей) весьма велико. Все это ведет к увеличению строительной стоимости канала.

В таких условиях (и, разумеется, при наличии достаточного общего падения отметок местности по длине канала) обычно экономически

более выгодно устраивать напорные гравитационные водоводы, которые, работая полным сечением, не требуют определенного однозначного уклона по длине канала.

Напорные гравитационные водоводы подобно нагнетательным укладывают на определенной глубине от поверхности земли, следуя изменениям рельефа местности. Эти водоводы позволяют уменьшить не только объем земляных работ, но часто и общую длину трассы. Однако условия их работы под напором требуют применения для них напорных труб.

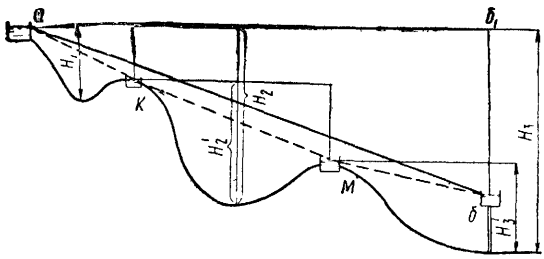


Рис. III.69

В подавляющем большинстве случаев в современных системах водоснабжения напорные гравитационные водоводы больших диаметров выполняют из железобетонных труб, в частности из предварительно напряженных. Эти трубы позволяют обеспечить хорошее сопротивление водовода значительным внутренним давлениям и одновременно его герметичность.

Чтобы избежать больших рабочих давлений в гравитационных водоводах и тем самым уменьшить толщину стенки и стоимость используемых труб, напорные гравитационные водоводы часто разбивают на отдельные участки, устанавливая в возвышенных точках трассы специальные (разгрузочные) резервуары.

На рис. III.69 схематически показан продольный профиль напорного гравитационного водовода; линия *аб* представляет собой пьезометрическую линию, соответствующую работе водовода при отсутствии разгрузочных резервуаров. Наиболее высокое давление в этом водоводе может возникнуть при прекращении движения воды. При закрытии задвижки в конце водовода линия статических давлений займет положение $аб_1$. Давления в водоводе возрастут и в пониженных точках трассы могут достигнуть весьма больших величин (H_2, H_3).

Устройство разгрузочных резервуаров K и M (имеющих свободную поверхность воды) значительно снижает величины давлений, которые могут возникнуть в водоводе (H'_2, H'_3). Кроме того, резервуары, располагаемые по длине водовода, могут служить запасными емкостями, используемыми во время ликвидации аварий или ремонта вышележащих участков водовода. На водоводах большой протяженности эти резервуары позволяют организовать автоматическое регулирование подачи воды по водоводу в соответствии с графиком расхода воды потребителями.

При значительных падениях отметок местности на отдельных участках напорных гравитационных водоводов с успехом используют избыточную гидравлическую энергию путем устройства гидроэлектростанций, достигающих на некоторых крупных водоводах большой мощности.

§ 52. РАСЧЕТ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ ПО ЗАДАННОЙ СТЕПЕНИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОДАЧИ ВОДЫ

Здесь рассматриваются особенности расчета напорных (нагнетательных и гравитационных) водоводов по заданной степени обеспеченности подачи ими воды объекту.

Непременным условием обеспечения бесперебойного снабжения водой потребителей независимо от методов ее транспортирования является достаточная мощность используемого источника водоснабжения.

Что же касается транспортирующих воду сооружений, то бесперебойность подачи ими воды может быть достигнута:

а) конструкцией водовода, обеспечивающей его безаварийную работу;

б) дублированием линий водовода, позволяющим выключать его отдельные линии на ремонт, не прекращая подачи воды потребителям;

в) устройством в конечных (а иногда и в промежуточных) точках водовода резервных емкостей, позволяющих снабжать водой потребителей на все время ремонта или ликвидации аварий на водоводе.

Для нагнетательных водоводов, кроме того, необходима бесперебойная работа насосной станции (наличие резервных насосных агрегатов, обеспеченность подачи энергии и т. п.).

Все конструкции современных водоводов предусматривают их надлежащую прочность. Однако полностью гарантировать безаварийность водовода (особенно при его значительной длине) невозможно ввиду весьма большого числа факторов, которые могут вызвать местные повреждения в нем.

Безнапорные каналы и водоводы благодаря отсутствию разрывающих усилий от внутреннего давления воды имеют относительно бóльшую надежность, чем напорные водоводы.

Вопрос о целесообразности дублирования линий водовода или устройства на нем достаточных резервных емкостей решается путем технико-экономического сравнения этих вариантов.

СНиП II-Г.3-62 устанавливают продолжительность ликвидации аварии на водоводах в зависимости от диаметра водовода и глубины промерзания грунта (табл. III.3).

Таблица III.3

Диаметр труб в мм	Продолжительность ликвидации аварии в ч при глубине промерзания грунта в м	
	⩽2	>2
⩽400	8	12
>400	12	24

Указанная продолжительность может быть изменена при соответствующем обосновании, учитывающем материал и диаметр труб, особенности трассы водовода, условия прокладки труб, средства ликвидации аварий, но не должна быть менее 6 ч.

Пользуясь приведенными указаниями строительных норм, можно определить требуемый объем резервной емкости и ее стоимость.

Очевидно, что устройство резервных емкостей будет выгодно только в случае, когда суммарная стоимость этих емкостей и водовода, проложенного в одну линию, меньше стоимости водовода, проложенного в две линии.

Опыт проектирования и строительства водоводов показывает, что при длинных водоводах устройство резервных емкостей экономически выгоднее дублирования линий водовода.

Обычно водоводы из двух или нескольких параллельных линий ис-

пользуют в системе нагнетательных водоводов. Эти системы должны обладать большой гибкостью в отношении постепенного их развития в соответствии с постепенным ростом водопотребления.

Рассмотрим метод поверочного расчета системы нагнетательных водоводов при их работе во время аварии на одной из линий водовода — сначала для системы водовода из двух параллельных линий.

При обычной работе водовода вода подается одновременно в обе линии и каждая из них рассчитывается на пропуск половины общего расхода (рис. III.70 *а*). В случае аварии на одной из линий она выключается полностью или частично, и вода подается по оставшейся линии.

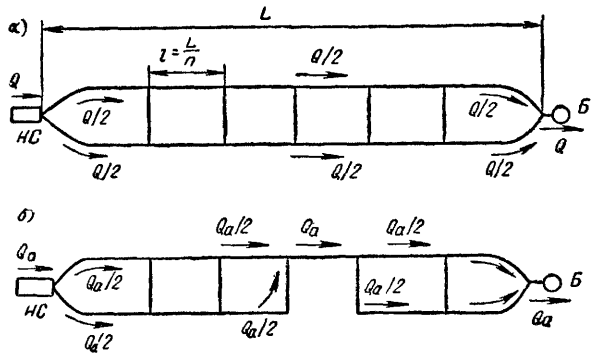


Рис. III.70

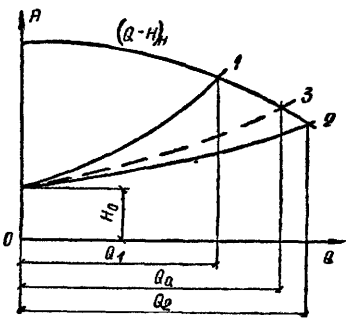


Рис. III.71

Изменение числа работающих линий влечет за собой изменение сопротивления в системе водовода, а следовательно, и изменение количества подаваемой воды.

Весьма важно знать, как будет реагировать насосная станция на выключение одной из линий водовода. Если кривая *1* (рис. III.71) представляет собой характеристику $H=f(Q)$ одной линии водовода заданной длины и диаметра, то характеристика системы двух таких параллельных линий будет представлена кривой *2*, абсциссы которой вдвое больше абсциссы кривой *1*. Точки пересечения этих кривых с характеристикой насоса $(Q—H)_н$ определяют значения производительности и напора насоса при работе одной или двух линий водовода.

При аварии и выключении одной линии водовода подача воды насосами падает. Строительными нормами и правилами установлено, что при аварии на водоводах должна быть обеспечена подача воды на хозяйственные нужды в количестве не менее 50% расчетного расхода и на нужды промышленных предприятий — по аварийному графику.

При выключении целиком одной из двух линий водовода процент снижения подачи воды весьма велик. Чтобы снижение подачи воды при аварии было по возможности меньше, между линиями водовода через определенное расстояние устраивают соединения (так называемые связки). Это позволяет выключать во время аварии не целиком всю линию, а лишь поврежденный участок ее и подавать по водоводу значительно большее количество воды, чем при выключении полностью одной из линий водовода.

При помощи графических методов [совмещения характеристик $H=f(Q)$ насосов и водоводов] можно легко найти величину изменения подачи насосов при выключении поврежденного участка водовода. Пусть водовод состоит из двух параллельно включенных линий длиной L с соединениями, устроенными на расстояниях $l=L/n$ (см. рис. III.70), где n — число участков водовода. В обычное время по каждой линии

пойдет расход $Q/2$, где Q — полный расход, подаваемый насосами. Если сопротивление одного участка обозначим через s, то сопротивление каждой линии водовода будет sn. Потери напора в каждой линии одинаковы и равны:

$$h = sn\left(\frac{Q}{2}\right)^2 = \frac{sn}{4}Q^2,$$

или, если обозначить сопротивление всей системы без аварии $sn/4$ через S,

$$h = SQ^2.$$

По этому уравнению построена кривая *2* системы водоводов (см. рис. III.71).

При аварии на одном из участков (см. рис. III.70, *б*) по $n-1$ участкам будет проходить расход $Q_a/2$ (где Q_a — расход, подаваемый насосами при аварии), а по одному участку (лежащему параллельно аварийному) — расход Q_a. Пренебрегая относительно ничтожными потерями напора в соединительных участках, получим полные потери напора в системе водовода при аварии:

$$h_a = s(n-1)\frac{Q_a^2}{4} + sQ_a^2 = \frac{s(n+3)}{4}Q_a^2,$$

или, обозначив суммарное сопротивление системы водовода при аварии $s(n+3)/4$ через S_a, получим

$$h_a = S_a Q^2{}_a.$$

Как видно, сопротивление водовода при аварии возросло: $S_a > S$ и, следовательно, подача воды при аварии понизится ($Q_a < Q$). Чем больше число соединений, тем в меньшей степени увеличится при аварии сопротивление системы водовода и тем в меньшей степени снизится количество подаваемой воды. Сопротивление при аварии S_a можно выразить через сопротивление в период нормальной работы водовода S таким образом:

$$S_a = \alpha S.$$

Здесь значение α зависит от числа участков n, на которые разбит водовод при устройстве соединений. При сравнении приведенных выше выражений для S и S_a нетрудно видеть, что

$$\alpha = \frac{n+3}{n}.$$

Тогда при $n=2$ значение $\alpha=2{,}5$, при $n=3$ значение $\alpha=2$, при $n=5$ значение $\alpha=1{,}6$, при $n=10$ значение $\alpha=1{,}3$ и т. д.

Построив по уравнению $h_a = S_a Q^2{}_a$ кривую *3* (см. рис. III.71) с той же начальной ординатой H_0, получим точку ее пересечения с характеристикой насоса. Абсцисса этой точки дает расход Q_a, который будет подаваться насосами при выключении одного поврежденного участка на одной из двух линий водовода. Мы видим, что расход Q_a значительно превышает расход Q_1, который был при полностью выключенной одной линии водовода. Имея заданную величину допустимого снижения подачи воды по водоводу (в зависимости от характера снабжаемого водой объекта), можно подобрать требуемое число соединений на водоводе.

При числе параллельных линий водовода $m \neq 2$

$$\alpha = 1 + \frac{2m+1}{n(m-1)^2},$$

где n — число участков на линии водовода.

Тот же расчет может быть применен и для напорных гравитационных водоводов. Так как в этих водоводах (в отличие от нагнетательных) напор H в начальной точке не зависит от изменения сопротивления в системе водовода, задача упрощается. В этом случае при работе водовода без аварии $H=SQ^2$, при работе водовода во время ликвидации аварии $H=S_aQ^2_a$. Следовательно, $SQ^2=S_aQ^2_a$.

После вычисления α и S_a описанным способом расход Q_a может быть найден прямым вычислением по выражению

$$Q_a=\sqrt{\frac{S}{S_a}}\,Q.$$

Глава 12

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ И ВОДОВОДОВ

§ 53. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕЙ И ВОДОВОДОВ

К задачам технической эксплуатации сети относятся:

1) наблюдение за работой и состоянием сети и ее оборудования;
2) устранение обнаруженных дефектов, текущий ремонт стыковых соединений и арматуры;
3) промывка и прочистка водопроводных труб;
4) ликвидация аварий на сети;
5) присоединение новых участков сети и домовых ответвлений;
6) оттаивание замерзших линий;
7) уход за уличными водоразборными кранами.

Наблюдение за работой и состоянием сети ведется путем регулярного планового обхода сети и осмотра всех колодцев и расположенной в них водопроводной арматуры. Такой обход делается несколько раз в год и во всяком случае не менее двух раз в год — осенью и весной.

При осмотре проверяют исправность задвижек и пожарных гидрантов, производят подтяжку болтов на фланцевых соединениях и т. п. Замеченные неисправности немедленно устраняют.

Весьма важным вопросом при эксплуатации сети является определение причин утечки воды из сети и их устранение. Утечка обычно (за исключением аварийных случаев) происходит из-за недостаточной плотности стыковых соединений труб и неполного закрытия водоразборной арматуры (во внутренних водопроводах).

Осмотр водоразборных кранов позволяет установить, что является основной причиной утечки: неисправность арматуры или плохое состояние сети. Для нахождения места утечки воды из наружной сети, происходящей вследствие повреждения стыков или образования трещин в трубе, применяют специальные чувствительные слуховые приборы (стетоскопы, аквафоны). Устанавливая эти приборы на земле вблизи предполагаемого места утечки и передвигая их вдоль линии, можно без раскопки линии по изменению силы звука обнаружить место утечки. Обнаруженные неисправности устраняют путем соответствующего ремонта.

Ремонтные работы на сети подразделяются на два вида: а) текущий ремонт; б) капитальный ремонт.

Текущий ремонт включает в себя профилактический ремонт (планируемый заранее по объему и времени выполнения) и непредвиденный ремонт (выявляемый в процессе эксплуатации и выполняемый в срочном порядке). К текущему ремонту, производимому за счет эксплуата-

ционных расходов, относятся следующие работы: заделка отдельных мест утечек в линиях сети с установкой ремонтных муфт, хомутов или сваркой; подчеканка отдельных раструбов; проверка на утечку отдельных участков сети; ремонт дюкеров; починка колодцев; разборка, чистка, смазка, окраска задвижек, гидрантов, вантузов, водоразборных колонок; ремонт домовых вводов.

Капитальный ремонт включает в себя те работы, в процессе которых производится смена изношенных конструкций, узлов и деталей или замена их на более прочные и экономичные. Капитальный ремонт осуществляется за счет амортизационных отчислений, предназначенных для этих целей.

В процессе эксплуатации на стенках труб могут отлагаться выпадающие из воды минеральные соли. Образующиеся твердые отложения на стенках труб можно удалять при помощи режущих приборов, протаскиваемых на тросах через трубы и соскабливающих отложения с их стенок.

Для очистки стенок труб малых диаметров от твердых отложений и продуктов коррозии может быть применена промывка труб раствором кислоты. Чтобы предохранить стенки металлических труб от разъедающего действия кислоты, в трубы вводят специальные вещества (ингибиторы). Трубы заполняют раствором кислоты на 15—20 ч и затем после удаления раствора промывают водой в течение 2—2,5 ч.

В зимнее время может произойти замерзание воды в трубах сети (на тупиковых участках). Замерзшие участки оттаивают горячей водой или электрическим током (при металлических трубах). В первом случае в специальном котелке нагревают воду, поступающую в него непосредственно из сети. Затем горячую воду вводят в замерзший участок по пеньковому или резиновому рукаву при помощи специальных металлических наконечников (для создания струи горячей воды). При электропрогреве через трубы пропускают ток, нагревающий их стенки и вызывающий таяние льда.

§ 54. ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙ НА ВОДОПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ

На водопроводных линиях могут быть аварийные повреждения как самих труб, так и установленной на них арматуры. Своевременное обнаружение и быстрая ликвидация аварии на сети или водоводах являются исключительно ответственной задачей, поскольку при отключении поврежденного участка в сети происходит перераспределение потоков воды, падают давления и нарушается нормальное снабжение водой потребителей. Кроме того, при авариях возможны большие потери воды и затопление подвалов, туннелей и т. п.

Причинами аварий могут быть различные явления и события: гидравлические удары, температурные деформации и случайные механические повреждения. Нарушение герметичности трубопровода может произойти вследствие нарушения прочности и герметичности стыковых соединений, коррозии материала труб, разрыва труб и фасонных частей. Статистические данные по эксплуатации водопроводных сетей и водоводов показывают, что наибольший процент повреждений приходится на стыки. В стальных трубах значительное количество повреждений обусловливается коррозией металла.

Гидравлические удары на напорных водоводах, происходящие в результате внезапной остановки насосов при прекращении подачи электрического тока, являются наиболее частой причиной повреждений водоводов. При этом разрывы труб могут происходить далеко от насосной станции — в том месте, где абсолютное значение внутреннего дав-

ления при ударе окажется наибольшим, или там, где сеть имеет меньшую прочность.

Весьма важно обнаружить аварию как можно быстрее, чтобы выключить поврежденный участок и прекратить утечку воды. В условиях города быстро обнаружить аварию очень сложно, так как вода, вытекающая в месте повреждения, может распространиться под асфальтовым покрытием на большое расстояние, прежде чем выйдет на поверхность. Часто вода попадает в каналы других технических служб города (теплосеть, телефон и т. п.).

Для обнаружения мест утечки могут использоваться чувствительные звукоулавливающие и другие приборы различных типов.

Ликвидация аварий на сети и водоводах входит в обязанности аварийных ремонтных бригад службы сети управления водопроводом. Аварийная бригада, связанная с диспетчерским пунктом, выезжает на место по команде, имея в своем распоряжении автомашину, оборудованную всеми необходимыми техническими средствами для выключения аварийного участка и быстрейшего ремонта поврежденных труб и арматуры.

Строительные нормы и правила устанавливают сроки ликвидации аварий труб сетей и водоводов в зависимости от их диаметра и глубины промерзания грунта (см. табл. III.3).

Хорошая организация аварийной службы имеет весьма большое значение для обеспечения требуемой надежности водоснабжения потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамов Н. Н., Поспелова М. М. Расчет водопроводных сетей. М, Стройиздат, 1962.

Абрамов Н. Н Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды. М., Стройиздат, 1972.

Андрияшев М М. Гидравлические расчеты водоводов и водопроводных сетей. М, Стройиздат, 1964

Мошнин Л. Ф. Методы технико-экономического расчета водопроводных сетей. М., Стройиздат, 1950.

Трубы, арматура и оборудование водопроводно-канализационных сооружений. Справочник по специальным работам Под ред. А. С. Москвитина. М, Стройиздат, 1970.

Шевелев Ф. А. (ВНИИ ВОДГЕО). Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. М., Стройиздат, 1973.

Раздел IV

ВОДОПРИЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Выбор типа и конструкции водоприемных сооружений зависит от местных природных условий в значительно большей степени, чем у всех остальных сооружений системы водоснабжения. Основное влияние на устройство водоприемников оказывает характер используемых природных источников воды: гидрологические характеристики открытых водоемов, условия залегания подземных вод (глубина, характер водоносных пластов и т. п.).

Как и для выбора источника водоснабжения, для правильного решения задачи проектирования и строительства водоприемных сооружений необходимо проведение обширных и детальных изысканий: гидрологических, геологических, гидрогеологических и т. д. Эти изыскания должны дать не только уверенность в возможности бесперебойного получения из выбранного источника требуемых количеств воды, но и все необходимые сведения для проектирования водоприемных сооружений.

В соответствии с двумя категориями природных источников воды все водоприемные сооружения могут быть разделены на две основные группы: сооружения для приема воды из поверхностных источников и сооружения для приема подземных вод [1].

Глава 13

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

§ 55. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Как уже было сказано, к поверхностным источникам, используемым для целей водоснабжения, относятся реки (в естественном или зарегулированном состоянии), озера и в отдельных случаях моря.

В практике водоснабжения наиболее часто используемыми поверхностными источниками являются реки. На выбор типа речных водоприемников влияют: амплитуда колебаний уровня воды, ледовые условия, топография берега и дна реки в месте водозабора, характер грунтов и др. Разнообразие местных природных условий — гидрологических, геологических, топографических — в сочетании с различными количествами забираемой воды обусловливает и весьма большое разнообразие типов и конструкций водоприемных сооружений.

Для правильного решения задачи проектирования речных водоприемников требуется детальное изучение гидрологического режима реки (анализ результатов многолетних наблюдений и постановка специальных гидрологических изысканий), а также проведение геологических и топографических изысканий. В ряде случаев при проектировании крупных и ответственных водоприемных сооружений приходится прибегать к методам моделирования и изучать режим работы будущего сооружения на моделях в лабораторных условиях.

---

[1] Основные сведения по гидрологии открытых водоемов излагаются в курсе «Гидрология и гидротехнические сооружения» М. Н. Грацианского и Ю. В. Александровского. «Высшая школа», 1961. Сведения по гидрогеологии сообщаются в курсе «Геология и гидрогеология» Н. Я. Денисова. М., Стройиздат, 1957.

Речные водоприемники должны быть запроектированы так, чтобы их расположение и форма обеспечивали плавное обтекание сооружений и наименьшее стеснение русла реки: они не должны вызывать переформирования русла.

Специфические особенности имеются в проектировании и устройстве водоприемников на реках с зарегулированным стоком.

Весьма ответственной задачей является выбор места расположения водоприемника, которое должно удовлетворять следующим основным условиям:

а) обеспечивать возможность применения наиболее простого и дешевого способа забора воды из источника;

б) гарантировать бесперебойность получения требуемых количеств воды;

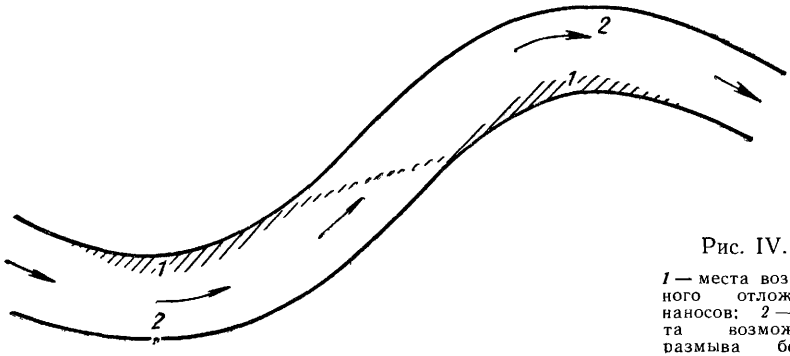


Рис. IV.1

1 — места возможного отложения наносов; *2* — места возможного размыва берегов

в) обеспечивать прием возможно более чистой воды;

г) находиться как можно ближе к снабжаемому водой объекту (для уменьшения стоимости водоводов и подачи воды).

Речные водоприемники должны располагаться выше по течению от мест сброса в реку сточных вод, а также от мест выходов оврагов. Особенно строгие требования предъявляются к местам расположения водоприемников систем водоснабжения населенных мест. Место расположения таких водоприемников должно быть согласовано с органами санитарного надзора и должно обеспечивать возможность организации зоны санитарной охраны.

Речные водоприемники следует располагать в тех местах русла реки, в которых, с одной стороны, не наблюдается интенсивного осаждения наносов и, с другой стороны, не происходит разрушения берега в результате осыпей и оползней. Наиболее интенсивное отложение наносов обычно происходит у выпуклого берега реки, поэтому здесь водоприемники располагать не следует. Прямые участки реки также не создают надежных условий для работы водоприемника, так как на этих участках нередко образуются перекаты.

Наиболее благоприятны для расположения водоприемников вогнутые берега реки (рис. IV.1), где отложения наносов не происходит. Однако вогнутые берега часто подвергаются размыву водами реки, в связи с чем устройство водоприемника здесь должно сопровождаться проведением берегоукрепительных работ.

При выборе места расположения водоприемника должны также учитываться ледовые условия реки. Водоприемники не следует располагать в местах возможного образования ледяных заторов, шугозажоров, а также в зонах интенсивного образования внутриводного льда.

Располагать водоприемник следует в местах, где необходимая для забора воды надлежащего качества глубина находится относительно близко от берега.

Не следует располагать водоприемные сооружения в нижних бьефах ГЭС вблизи гидроузла.

На судоходных и лесосплавных реках водоприемные сооружения должны располагаться вне зоны движения судов или плотов. При устройстве водоприемников на судоходных реках место их расположения и конструкция должны быть согласованы с соответствующими организациями водного транспорта.

Весьма существен при выборе места расположения водоприемных сооружений учет геологических и гидрогеологических условий, в том числе сейсмической характеристики района и возможности оползневых явлений.

Правильный выбор места расположения водоприемного сооружения может быть осуществлен лишь на основе тщательного изучения всех местных природных условий и комплексного их учета.

§ 56. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЧНЫХ ВОДОПРИЕМНИКОВ

Установившейся и общепринятой классификации водоприемных сооружений в настоящее время не существует.

Большое разнообразие природных условий и обилие методов решения задачи водоприема обусловливают наличие большого числа признаков, по которым могут быть классифицированы речные водоприемные сооружения.

Водоприем может осуществляться из рек в их естественном состоянии или из зарегулированных рек. В последнем случае вода забирается из образованных на реке водохранилищ. В отдельных случаях водохранилища создаются специально для нужд водоснабжения (обычно для крупных промышленных предприятий, потребности которых в воде превышают величину речного стока в маловодные периоды года). Чаще для целей водоснабжения используются водохранилища, образованные при строительстве гидростанций. Условия приема воды из водохранилищ имеют ряд особенностей, которые влияют на тип и оборудование водоприемников. При проектировании и строительстве водоприемных сооружений на водоемах рыбохозяйственного значения должны быть предусмотрены все мероприятия и устройства по рыбоохране.

Иногда водоприем требует проведения в русле реки регуляционных работ для улучшения условий забора воды, а также устройства водоподъемных плотин для увеличения глубины в месте водоприема. Как в этом случае, так и в случае устройства водохранилищ водоприемные сооружения могут быть возведены отдельно от плотин или конструктивно объединены с ними. Так возникает особый тип водоприемников, конструктивно объединенных с речными гидротехническими сооружениями.

При наличии вблизи берега глубин, обеспечивающих требуемые условия забора воды, и при относительно крутом береге применяются **водоприемники берегового типа.** Их располагают на склоне берега с приемом воды непосредственно из русла реки. При этом насосы первого подъема могут быть расположены в отдельном здании насосной станции или в самом водоприемнике. Этим определяются соответственно два вида водоприемников берегового типа — раздельный и совмещенный (см. далее рис. IV.2 и IV.3).

Если требуемые для приема воды глубины могут быть найдены толь-

ко на значительном расстоянии от берега (что обычно имеет место при малых уклонах берега и дна реки), используются **водоприемники руслового типа**. В месте забора воды из реки в ее русле устраивается приемный оголовок; от него вода подается по трубам к береговому колодцу (см. далее рис. IV.13). При этом, как и у водоприемников берегового типа, насосная станция может быть устроена отдельно или конструктивно объединена с береговым колодцем.

В отдельных случаях устраивают незатопляемый оголовок, представляющий собой своеобразное сооружение островного типа (часто называемое «крибом»), вынесенное в русло реки. Иногда в таком оголовке устанавливают насосы, передающие воду на берег по напорным трубам.

В ряде случаев для улучшения условий приема воды ее забирают не непосредственно из русла реки, а из искусственно созданных заливов — ковшей (см. § 61). Устройство ковшей позволяет снизить количество взвешенных наносов в воде, забираемой насосами, а также успешно бороться с внутриводным льдом и шугой.

В тех случаях, когда речная вода сильно загрязнена, находят применение **водоприемники инфильтрационного типа**, забирающие речную воду, профильтровавшуюся через грунт дна и берега реки (см. § 74).

Своеобразным типом водоприемных устройств являются **передвижные водоприемники** (совмещенные с насосной установкой), отметка расположения которых может изменяться в соответствии с изменением уровня воды в реке. Эти водоприемники (насосные установки) позволяют всегда осуществлять забор воды при малой и постоянной высоте всасывания. Их устраивают плавучими или фуникулерного типа (см. § 60).

Приведенный классификационный обзор основных принципиальных типов речных водоприемных сооружений не охватывает все их действительное многообразие, обусловленное, как сказано, исключительным разнообразием местных природных условий, весьма сильно влияющих именно на этот вид водопроводных сооружений.

§ 57. РЕЧНЫЕ ВОДОПРИЕМНИКИ БЕРЕГОВОГО ТИПА

Раздельный водоприемник берегового типа (рис. IV.2) представляет собой колодец *1*, обычно железобетонный, передняя стенка которого выходит непосредственно в русло реки. Вода поступает в водоприемник через входные окна *2*, расположенные в передней стенке колодца, и забирается насосами через всасывающие трубы *3*.

Обычно в речных водоприемниках осуществляется предварительная грубая механическая очистка воды. В этих целях входные окна снабжаются решетками, предотвращающими занесение внутрь водоприемника относительно крупных предметов. Кроме того, на пути от входных окон к всасывающим трубам вода проходит через сетки *4*, установленные в перегородке *5*, разделяющей водоприемный колодец на два отделения: переднее (приемное) *А* и заднее (всасывающее) *Б*. На сетках задерживается значительная часть загрязнений, содержащихся в воде: планктон, водоросли, мелкий сор и т. д. Подобная механическая очистка (процеживание) воды значительно облегчает работу сооружений для осветления воды, предотвращает возможное засорение труб и насосов, а в ряде случаев в системах производственного водоснабжения дает возможность использовать воду без какой-либо дополнительной очистки.

Над водоприемным колодцем устраивается служебный павильон *6*, из которого осуществляются управление арматурой и механизмом очистки сеток, а также другие операции, связанные с эксплуатацией водоприемных сооружений.

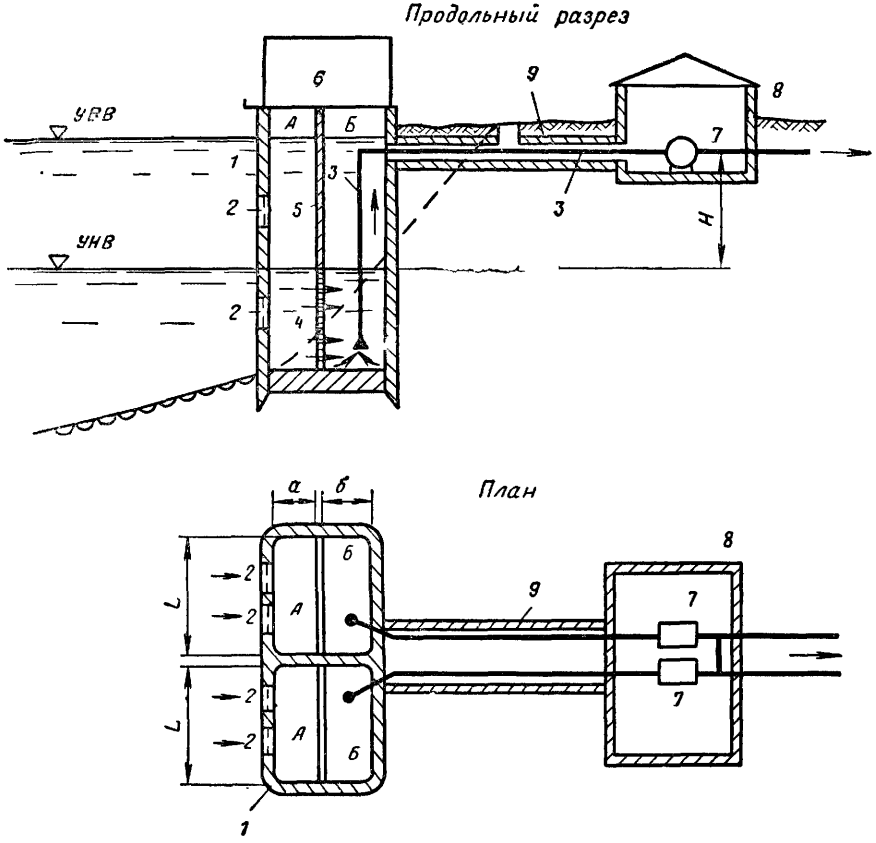


Рис. IV.2

Вода, прошедшая через сетки, забирается насосами *7* через всасывающие трубы *3*. Устройство насосной станции в отдельно стоящем здании *8* может быть обусловлено геологическими условиями, характером рельефа берега и степенью его затопления паводковыми водами.

Для обеспечения лучших условий всасывания желательно располагать станцию возможно ближе к водоприемнику.

Характер здания насосной станции, необходимость и степень ее заглубления зависят от амплитуды колебаний уровня воды в реке и допустимой высоты всасывания насосов. Отметка оси насосов определяется отметкой низкого расчетного уровня воды в реке и допустимой высотой всасывания насосов (с учетом потерь напора во всасывающих линиях).

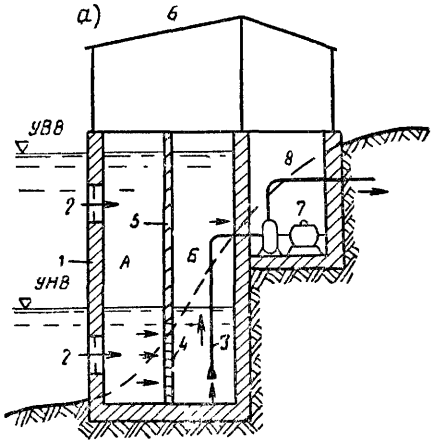
В целях обеспечения большей надежности и улучшения условий эксплуатации сооружения следует, как правило, устанавливать насосы под заливом, т. е. ниже минимального расчетного уровня воды в реке.

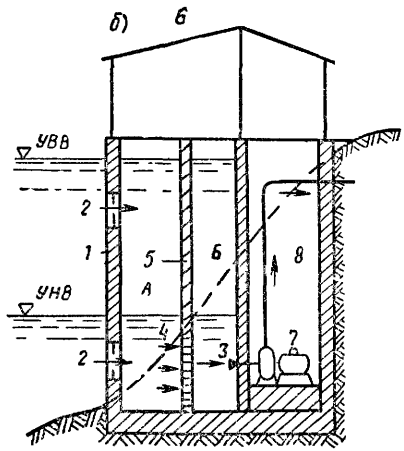
Всасывающие трубы *3* для защиты от повреждений и для облегчения их осмотра и ремонта иногда располагают в специальной галерее *9*.

Водоприемный колодец обычно разделяется продольными перего-

родками на несколько параллельно (и независимо) работающих секций (по числу насосов) (в водоприемнике, показанном на рис. IV.2, таких секций две). Это обеспечивает бесперебойность работы водоприемника и позволяет осуществлять периодическую очистку и ремонт водоприемника без прекращения подачи воды.

При благоприятных геологических, топографических и гидрологических условиях целесообразно устройство совмещенных водоприемни-





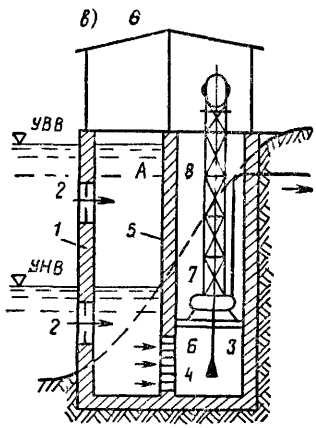


Рис. IV.3

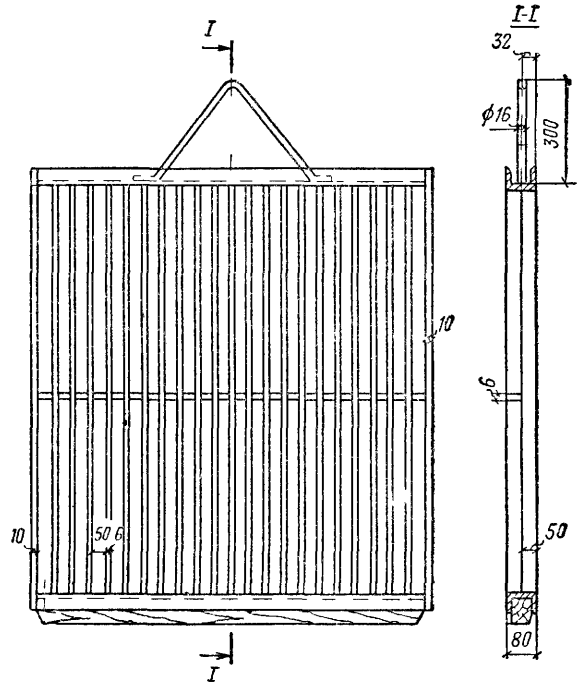


Рис. IV.4

ков. Благодаря своей относительной экономичности эти водоприемники имеют значительно большее распространение, чем раздельные водоприемники. Основные принципиальные схемы таких водоприемников показаны на рис. IV.3 (обозначения те же, что и на рис. IV.2). Здание станции может примыкать к водоприемному колодцу (рис. IV.3, *а*) или

может быть конструктивно полностью объединено с водоприемником (рис. IV.3, *б* и *в*). При первой схеме уменьшается общий объем сооружения, но применение ее возможно лишь при наличии достаточно плотных грунтов. Схема, показанная на рис. IV.3, *б*, практически приемлема при любых грунтах, но вызывает увеличение объема сооружения. Применение вертикальных центробежных насосов (рис. IV.3, *в*) позволяет уменьшить объем сооружения. При схемах, показанных на рис. IV.3, *б* и *в*, требуется устройство внутри водоприемника водонепроницаемых камер для установки насосов. Схема, приведенная на рис. IV.3, *в*, предусматривает применение вертикальных насосов с удлиненным валом, позволяющим устанавливать электродвигатели в верхнем павильоне водоприемника. При схемах, показанных на рис. IV.3, *б* и *в*, возможно обеспечение работы насосов под заливом даже при самых низких уровнях воды.

Водоприемники берегового типа могут иметь в плане круглую, эллипсоидальную или прямоугольную форму, выбираемую в зависимости от места расположения водоприемника, условий обтекания его водами реки, условий производства работ по его сооружению и от используемого оборудования насосной станции.

Размеры водоприемника, его основных элементов и оборудования (сеток, решеток, труб и т. д.) определяют частично путем гидравлического расчета и частично по соображениям конструктивного и эксплуатационного характера. Кроме того, водоприемник должен быть проверен на действие сил давления воды, льда и грунта (на всплывание, на опрокидывание, на сдвиг), а также на прочность при действии заданных нагрузок.

Основой для гидравлического расчета водоприемника является заданная расчетная производительность сооружения. Общее расчетное количество забираемой воды в свою очередь влияет на выбор типа, оборудования и конструкции водоприемника.

Независимо от типа водоприемника его проектирование производится в тесной увязке с проектированием насосной станции и подбором насосного оборудования. Это позволяет наиболее рационально выбрать число насосных агрегатов и установить число секций водоприемника (по фронту).

По заданной производительности (полной и на одну секцию) и рекомендуемым скоростям могут быть путем гидравлического расчета определены размеры входных окон, площади сеток, величины потерь напора в решетках и сетках, а также диаметры всасывающих труб. Суммарная площадь Ω (в м^2) входных окон (брутто) для каждой секции водоприемника, рассчитанной на пропуск расхода воды Q (в м^3/с), определяется по расчетной скорости входа воды с учетом стеснения живого сечения потока решеткой (коэффициент a_1) и засорения решетки в процессе эксплуатации (коэффициент a_2). Тогда соотношение между расходом Q, площадью Ω и скоростью v может быть выражено по формуле

$$Q = \mu(a_1 a_2 \Omega) v,$$

где μ — коэффициент расхода;

v — расчетная средняя скорость движения воды в отверстиях решетки в м/с; для водоприемников берегового типа СНиП II-Г.3-62 рекомендуют принимать скорость v в пределах 0,4—1 м/с (меньшие скорости при большей мутности и шугоносности).

Отсюда площадь окон (брутто)

$$\Omega = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{a_1} \cdot \frac{1}{a_2} \cdot \frac{Q}{v},$$

или

$$\Omega = k_1 k_2 k_3 \frac{Q^*}{v}.$$

Коэффициенты k_1, k_2, k_3 принимаются в зависимости от типа и конструкции решеток и условий их эксплуатации.

Решетки, перекрывающие входные окна, обычно выполняют из металлических вертикальных стержней круглого или прямоугольного сечения. Для возможности очистки решетки следует делать съемными.

На рис. IV.4 в качестве примера показана съемная решетка из полосовой стали. Решетка устанавливается в направляющих из вертикально поставленных швеллеров (перекрывая проем входного окна с внешней стороны) и может быть поднята для очистки на балкон служебного павильона с помощью простейших грузоподъемных устройств[1].

В реках, где образуется глубинный лед или шуга, в целях борьбы с обледенением и закупоркой решеток применяют обогрев их электрическим током. Обычно для защиты решеток от обмерзания достаточен даже небольшой нагрев их (до плюс 0,01—0,02° С).

Для принятого типа решетки могут быть определены значения коэффициентов k, входящих в приведенную выше расчетную формулу. Коэффициент k_1 при стержнях круглого сечения принимается равным 1,1, при стержнях прямоугольного сечения равным 1,25. Коэффициент k_2 равен $(a+d)/a$, где a — расстояние между стержнями решетки (в свету); d — диаметр стержня круглого сечения (или ширина поперечного сечения стержня прямоугольного профиля). При обычных значениях a (40—50 мм) и d (10 мм) коэффициент $k_2 = 1{,}25—1{,}20$. Коэффициент засорения решеток (водорослями и мусором) $k_3 = 1{,}25$.

По приведенной выше формуле может быть определена лишь общая площадь входных окон, приходящаяся на одну секцию водоприемника. Число и размеры входных окон назначают с учетом ряда эксплуатационных и конструктивных соображений. Так, размеры окон назначают с таким расчетом, чтобы решетки имели относительно небольшой вес и были удобны для подъема (высота их должна быть больше ширины).

При значительном колебании уровня воды в реке входные окна водоприемников часто располагают в два яруса, с тем чтобы всегда можно было получать возможно более чистую воду. Низ окон в целях уменьшения количества вовлекаемых насосов располагают не менее чем на 0,5 м выше дна реки. Верх окон во избежание их обмерзания располагают не менее чем на 0,2 м ниже нижней кромки льда при наинизшем уровне ледостава и не менее чем на 0,3 м ниже низкого расчетного уровня воды.

Сетки, через которые проходит вода, поступающая из приемного отделения во всасывающее, могут быть двух типов — плоские (подъемные) и вращающиеся. Расчетную (рабочую) площадь сеток можно определять по формуле, приведенной для расчета входных окон с решетками, но при иных значениях расчетных коэффициентов и скоростей, а именно:

---

* В таком виде эта формула приведена в СНиП II-Г.3-62.

[1] Конструкции решеток и сеток различных типов, а также другого оборудования водоприемников описываются в «Справочнике по специальным работам. Трубы, арматура и оборудование водопроводно-канализационных сооружений». Под ред. А. С. Москвитина. М., Стройиздат. 1970.

$k_1 = 1{,}15 - 1{,}25;$

$$k_2 = \left(\frac{a+d}{a}\right)^2 (1+p),$$

где a — размер ячейки сетки в свету;

d — диаметр проволоки;

p — часть общей площади, занятая опорными рамами и конструкциями.

Коэффициент k_3 для плоских сеток принимается равным 1,5, для вращающихся сеток — 1,2.

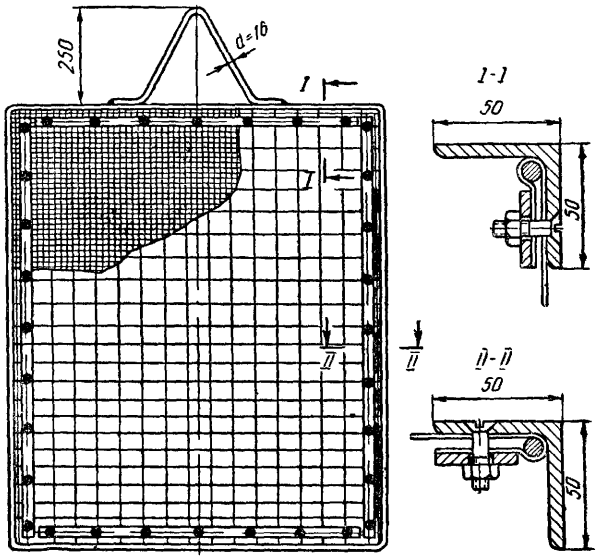


Рис. IV.5

Согласно указаниям строительных норм наибольшую расчетную скорость прохождения воды через отверстия плоских сеток рекомендуется принимать равной 0,2—0,4 м/с, через отверстия вращающихся сеток — 0,8—1,2 м/с.

Плоская (подъемная) сетка представляет собой проволочное полотно, натянутое на стальную раму. Иногда сетка состоит из двух наложенных друг на друга полотен. Одно полотно делается из проволоки диаметром 1—1,5 мм с ячейками от 2×2 до 5×5 мм, другое — из более толстой проволоки (2—3 мм) с ячейками 20×20 или 25×25 мм. Это полотно исключает возможность прорывов первого полотна давлением воды при загрязнении сетки. Размеры подъемных сеток колеблются в широких пределах (как ширина, так и высота примерно от 0,8 до 2 м). Подъемные сетки располагают у проемов в нижней части поперечной перегородки в направляющих (пазах) из швеллеров и периодически поднимают для очистки в служебный павильон над водоприемным колодцем. Обычно поднятую сетку заменяют запасной. Для удобства замены сеток устраивают двойные пазы.

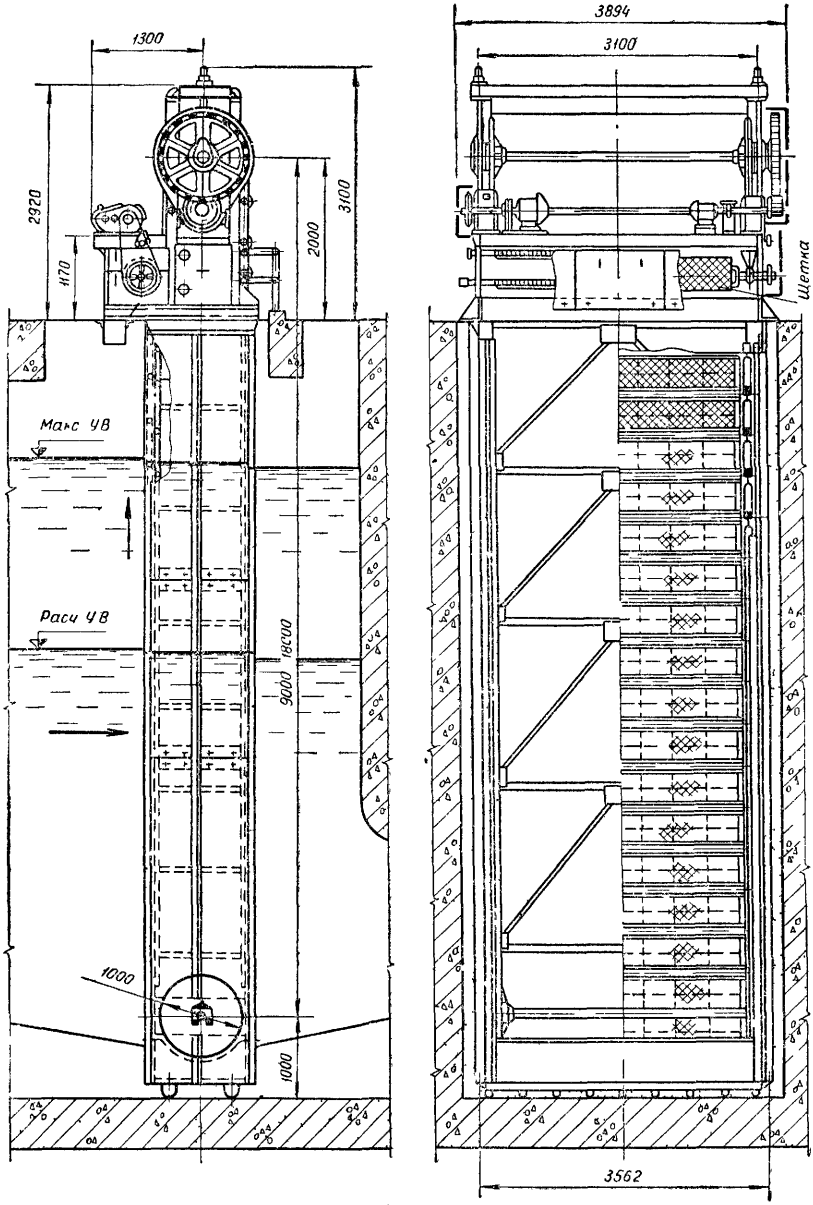
Конструкция плоской подъемной сетки показана на рис. IV.5.

Вращающаяся (ленточная) сетка представляет собой непрерывное проволочное полотно, перекинутое через два расположенных один над другим горизонтальных барабана[1] (рис. IV.6). Полотно состоит из отдельных секций (металлических рамок), шарнирно соединенных между собой. Каждая рамка затянута сеткой из тонкой проволоки (медной, латунной или из нержавеющей стали) диаметром 0,2—0,4 мм с ячейками от 0,3×0,3 до 2×2 мм. Вращение сетки осуществляется при помощи электродвигателя.

Если процеживание воды обеспечивает достаточную степень ее очистки для производственных потребителей, размеры ячеек сеток следует принимать в соответствии с требованиями к качеству используемой воды. Чем выше эти требования, тем меньше должны быть ячейки сеток.

Многочисленные конструкции вращающихся сеток могут быть отнесены к трем основным типам (рис. IV.7).

[1] В некоторых конструкциях сеток имеется только один (верхний) барабан.



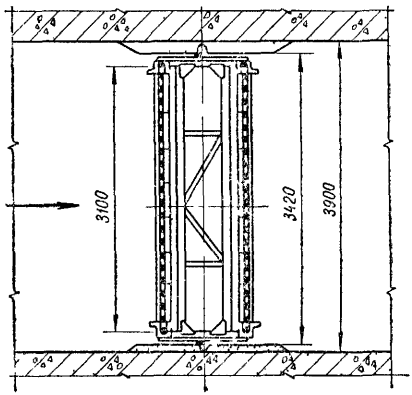


Рис IV 6

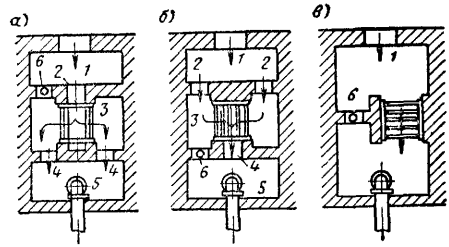


Рис. IV.7

На рис. IV.7, *а* показана принципиальная схема установки вращающейся сетки с внутренним подводом и внешним отводом воды. Здесь вода из приемной камеры *1* через окно *2* поступает внутрь сетки, которая установлена посредине сеточной камеры *3*, процеживается через оба поля движущегося полотна сетки и через проемы *4* направляется в камеру *5*, куда опущены концы всасывающих труб насосов. В целях предотвращения прорыва сетки давлением воды (при ее значительном загрязнении) предусмотрена возможность открытия аварийного окна *6*. Иногда предусматривается автоматическое открытие окна при возрастании разности давлений (или уровней воды) перед и за сеткой.

На рис. IV.7, *б* показана принципиальная схема установки вращающейся сетки с внешним подводом и внутренним отводом воды. Здесь вода из приемной камеры *1* через окна *2* поступает в сеточную камеру *3*, проходит через внешнюю сторону полотна сетки внутрь ее и отводится через проем *4* в камеру *5*, откуда забирается насосами. Сетка промывается водой через спрыски смонтированной внутри нее промывочной трубы.

Применение вращающихся сеток как с внутренним, так и с внешним подводом воды требует некоторого увеличения размеров водоприемных сооружений в плане.

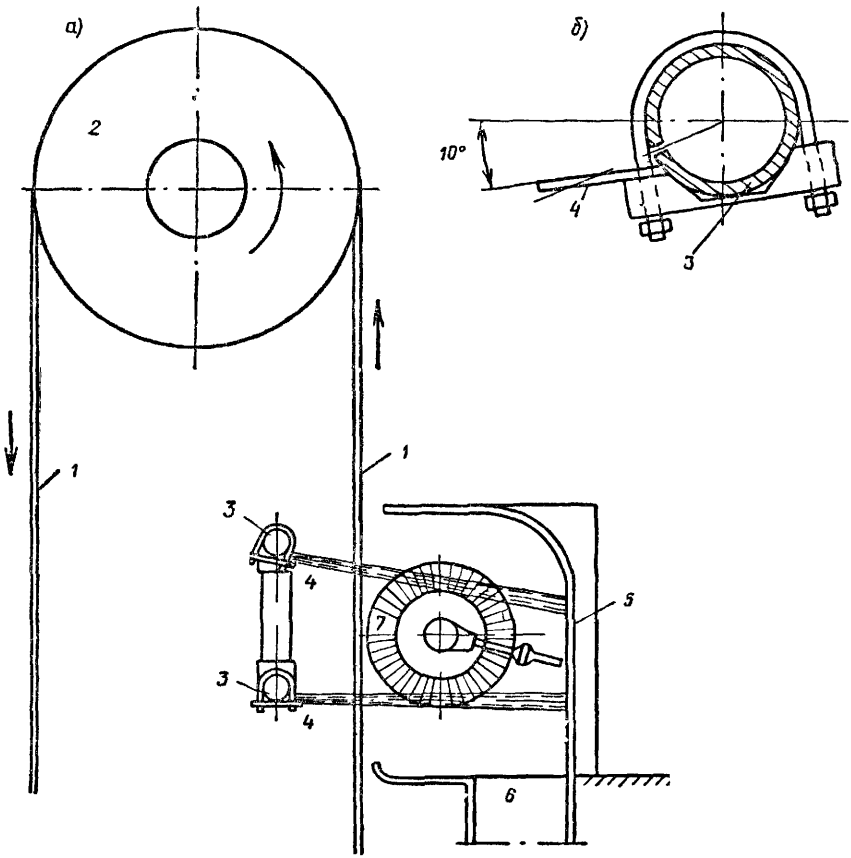
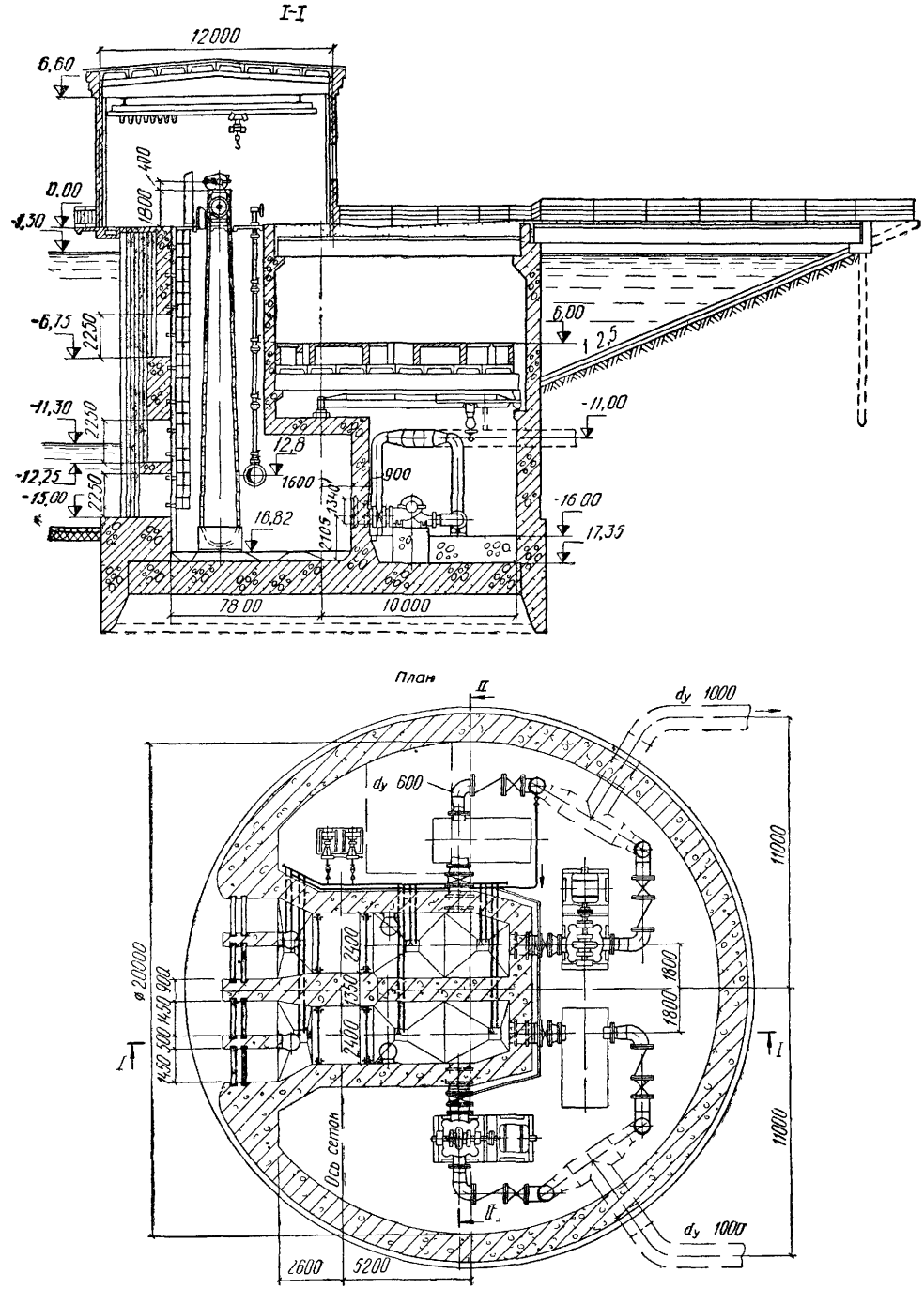


Рис. IV.8

1 — полотно сетки; *2* — верхний барабан; *3* — промывные трубы диаметром 70 мм; *4* — направляющие для формирования промывной струи, *5* — отражатель промывной струи, *6* — желоб для отвода промывной воды; *7* — вращающиеся капроновые щетки для очистки сетки



На рис. IV.7, *в* показана принципиальная схема установки вращающейся сетки прямоточного типа (с лобовым подводом воды). Здесь вода проходит последовательно два поля полотна сетки — переднее и заднее. При движении полотно сетки с задержанными на нем загрязнениями попадает под струи промывочной воды; проходя зону промывки, полотно очищается и в таком виде снова погружается в воду. Такая

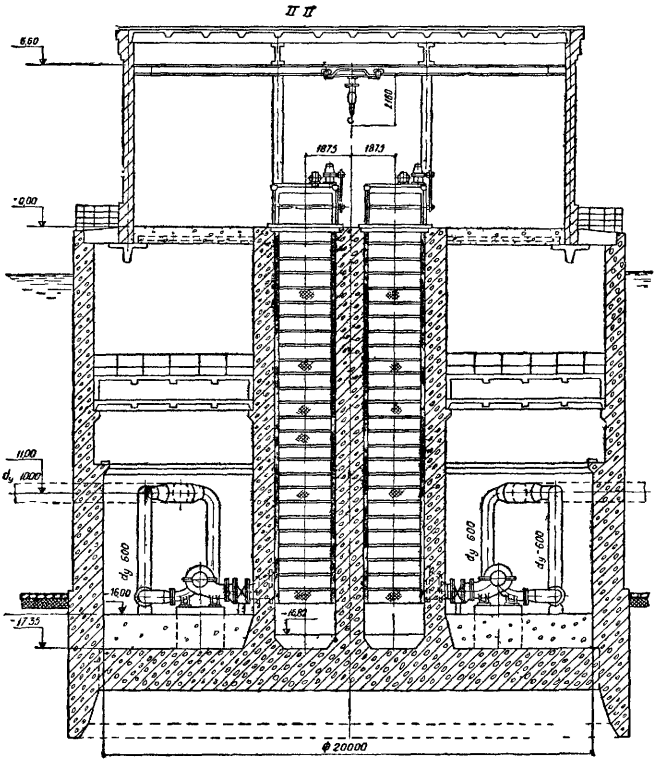


Рис. IV.9

сетка обеспечивает не только более простое и компактное устройство водоприемника, менее сложный монтаж, более удобный осмотр, но и более спокойный режим движения воды в камерах водоприемника с меньшими сопротивлениями. Однако сетка прямоточного типа имеет тот недостаток, что процеживает воду в основном только одним своим полем. Если по требованиям потребителя должна быть гарантирована бесперебойность процеживания воды на сетках, сетки прямоточного типа применять не следует, так как при неполадках в промывных устройствах загрязнения могут переноситься такой сеткой в камеру чистой воды.

Скорость поступательного движения сеток принимается тем больше, чем больше загрязнение забираемой воды. Обычно эта скорость лежит в пределах 3,5—10 см/с.

Мощность электродвигателя, используемого для вращения применяемых в нашей практике сеток, колеблется в пределах от 2 до 5 квт.

На рис. IV.8 показано промывное устройство (для сетки с лобовым подводом воды) в виде двух горизонтальных параллельно расположенных труб с отверстиями диаметром 6 мм. Вода для промывки подается под давлением 4 кгс/см^2. Трубы снабжены направляющими плоскостями. Выходя из отверстий, вода ударяется об эти плоскости, в результате чего образуется струя «ножевого» характера, т. е. плоская режущая струя, смывающая загрязнения с сетки. В некоторых установках сетки дополнительно очищают с помощью капроновых щеток.

На рис. IV.8, *а* дана общая схема промывного устройства, а на рис. IV.8, *б* показан разрез верхней промывной трубы с отверстиями и направляющей плоскостью.

Расход промывочной воды меняется в зависимости от степени за-

грязнения сетки, ее размеров, размеров ее ячеек и скорости вращения, составляя от 5 до 10 и даже (в крупных установках) до 15 л/с.

Вращающиеся сетки, выпускаемые нашей промышленностью, рассчитаны на пропуск воды в количестве до 3 м³/с.

В системах водоснабжения значительного масштаба приходится устанавливать несколько параллельно работающих сеток. Каждая из них помещается в отдельной сеточной камере водоприемного сооружения.

Вращающиеся сетки получили широкое применение в системах водоснабжения промышленных предприятий, а также в водопроводах крупных городов.

Полученные в результате расчета размеры входных окон и сеток позволяют определить строительные размеры секций водоприемника по фронту (размер L на рис. IV.2). При этом для обеспечения необходимой прочности сооружения должны быть учтены конструктивные соображения в отношении расстояний между входными окнами.

Размеры отделений *А* и *Б* водоприемника в продольном направлении (размеры a и $б$ на рис. IV.2) определяются в основном по конструктивным и эксплуатационным соображениям. Они должны обеспечить возможность размещения в водоприемнике сеток, затворов, лестниц, трубопроводов и другого оборудования, а также возможность проведения операций по осмотру и ремонту оборудования.

Соотношение всех размеров водоприемника в плане должно обеспечить по возможности плавное движение потока воды от входных окон к сеткам и от сеток к всасывающим трубам без излишних завихрений или застойных мест.

В водоприемниках на водоемах рыбохозяйственного значения должны быть предусмотрены все необходимые мероприятия и устройства, препятствующие занесению (попаданию) в них рыбы. Характер рыбоохранных мероприятий зависит от особенностей природных источников воды и базируется на специфике жизни и поведения обитающих там рыб. В качестве рыбоохранных заградительных устройств в водоприемных сооружениях используются плоские сетки (с размерами ячеек, соответствующими крупности рыбы), сетчатые барабаны (сетки цилиндрической формы, перекрывающие входные окна водоприемника), сетки с рыбоотводами — устройствами, позволяющими отводить рыбу, задержанную сеткой, обратно в водоем; отбойные козырьки; запани, располагаемые в водоеме и отводящие рыбу от места забора воды в водоприемник. Расчетные скорости движения воды через все виды заградительных устройств устанавливаются исходя из соображений рыбоохраны.

Кроме перечисленных механических устройств используются также (в дополнение к ним или самостоятельно) гидравлические заградители в виде струй воды, пневматические завесы из пузырьков воздуха, а также электрические, световые или звуковые заградительные поля.

Специфические требования по рыбозащитным мероприятиям при устройстве водопроводных водоприемных сооружений излагаются в «Положении по проектированию рыбозащитных устройств водозаборных сооружений» Министерства рыбного хозяйства СССР и включены в проект СНиП II-Г.3.

§ 58. ПРИМЕРЫ РЕЧНЫХ ВОДОПРИЕМНИКОВ БЕРЕГОВОГО ТИПА

На рис. IV.9 приведен пример совмещенного с насосной станцией водоприемника берегового типа производительностью 5—6 м³/с; амплитуда колебаний уровня воды до 10 м.

Подземная часть водоприемника представляет собой круглый в

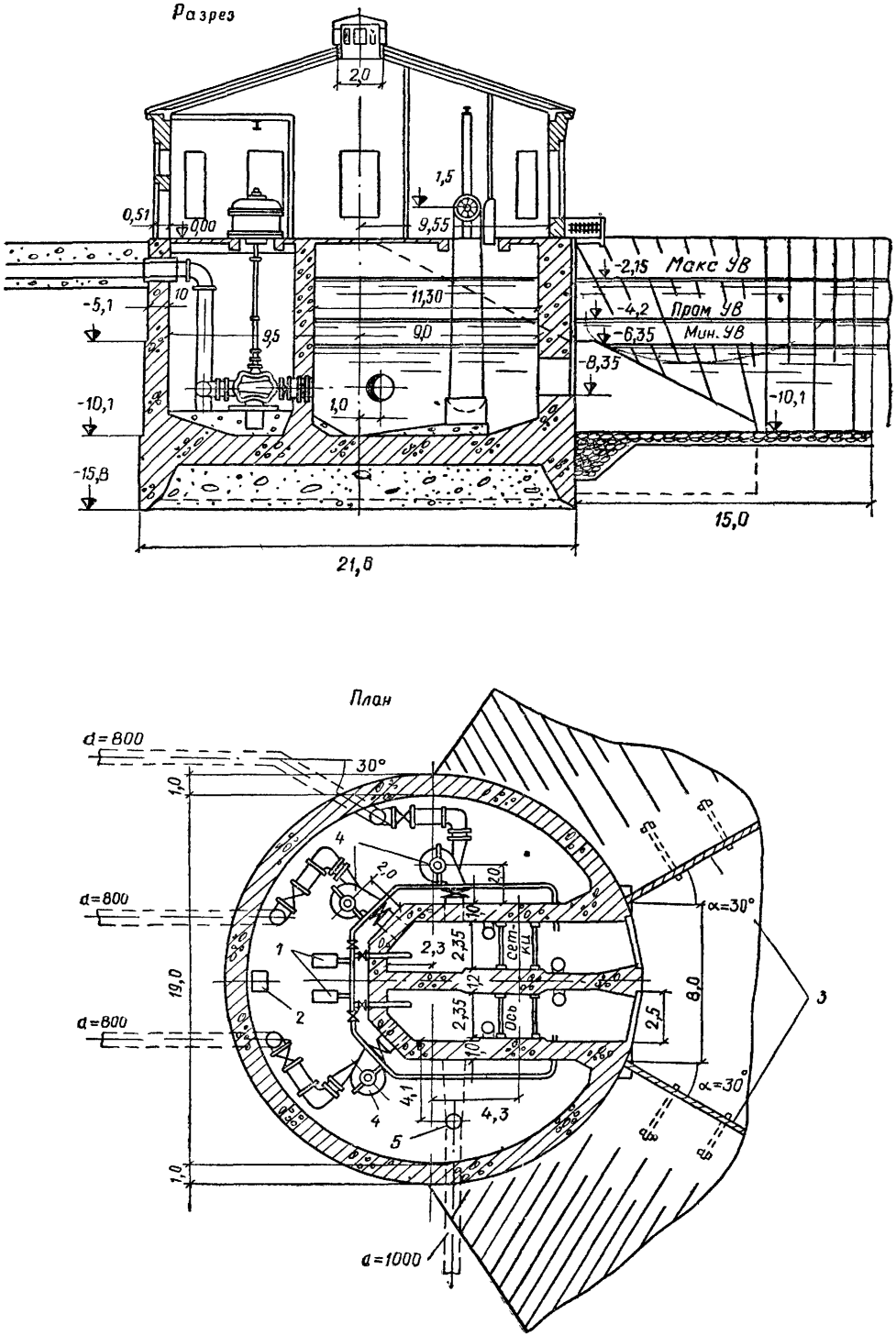
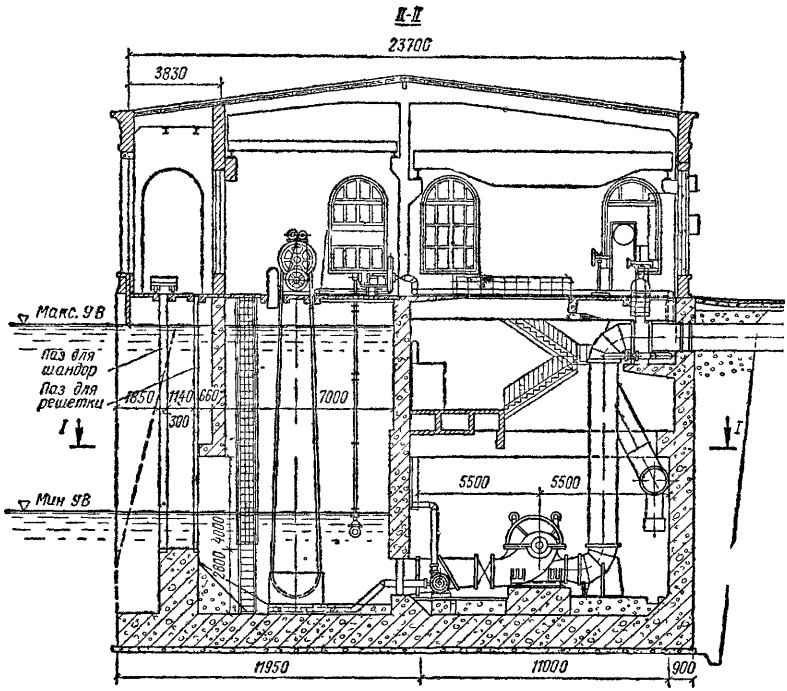


Рис. IV.10

1 — грязевые насосы; *2* — дренажный грязевой насос, *3* — шпунтовые стенки; *4* — насос 24 НДсВ; *5* — насос 40ПРВ-60

плане колодец из монолитного железобетона, сооруженный опускным способом. Вода поступает в водоприемник через окна, оборудованные решетками, проходит вращающиеся сетки с лобовым подводом воды и попадает в приемное отделение, расположенное в центральной части колодца и разделенное на две секции. Помещение насосной станции с трех сторон охватывает приемное отделение. На станции установлено четыре центробежных насоса типа 22 НДс (действующих и запасных).



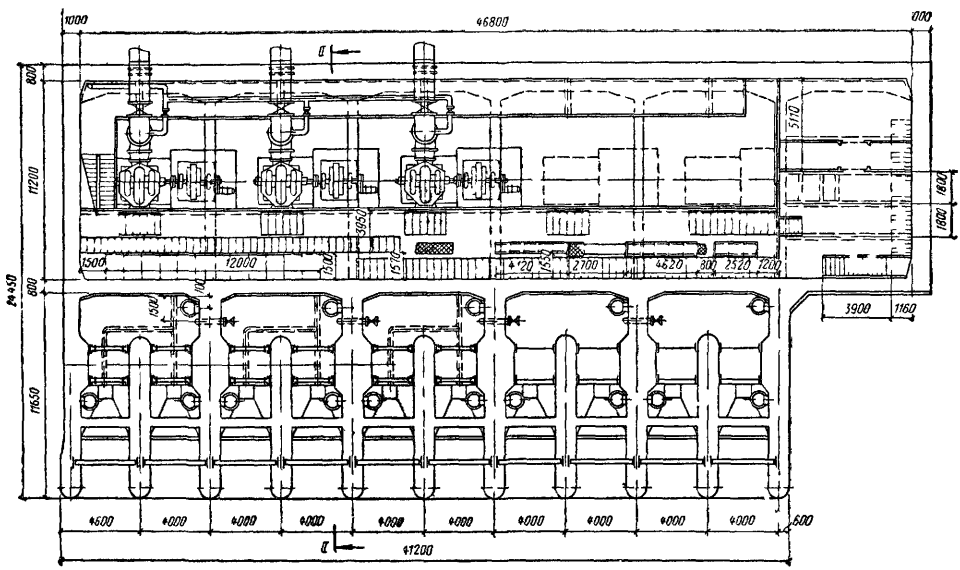


Рис. IV.11

Расходомеры и гасители удара располагаются на напорных водоводах вне пределов станции — в специальных камерах.

На рис. IV.10 показан водоприемник также берегового типа, но оборудованный вертикальными насосами. Электродвигатели расположены на перекрытии в наземном павильоне станции. Применение вертикальных насосов позволяет уменьшить площадь насосной станции и, следовательно, объем всего сооружения.

На рис. IV.11 приведен крупный водоприемник системы производственного водоснабжения. Водоприемник (совмещенный с насосной станцией) имеет прямоугольную форму в плане и рассчитан на подачу воды в количестве 12 м³/с. Насосная станция оборудована пятью горизонтальными насосами типа 48Д-22 производительностью 3 м³/с каждый. Вода проходит во всасывающее отделение через вращающиеся сетки.

§ 59. РЕЧНЫЕ ВОДОПРИЕМНИКИ РУСЛОВОГО ТИПА

а. Принципиальная схема устройства

Водоприемники руслового типа чаще всего применяют при относительно пологом береге. В этих условиях требуемые для забора воды глубины в реке находятся на относительно большом расстоянии от берега. Кроме того, при пологом береге сезонные колебания уровня воды в реке вызывают значительное перемещение уреза воды (т. е. затопление берега). А поскольку насосная станция, как правило, должна быть расположена вне зоны затопления, длина труб от точки приема воды до насосной станции получается обычно весьма большой. Устройство длинных всасывающих линий экономически нецелесообразно и не обеспечивает надежной эксплуатации водоприемника. В связи с этим в водоприемниках руслового типа всасывающие линии заменены (на большой части их длины) самотечными, по которым осуществляется своеобразный глубокий ввод воды в берег с подводом ее возможно ближе к насосной станции.

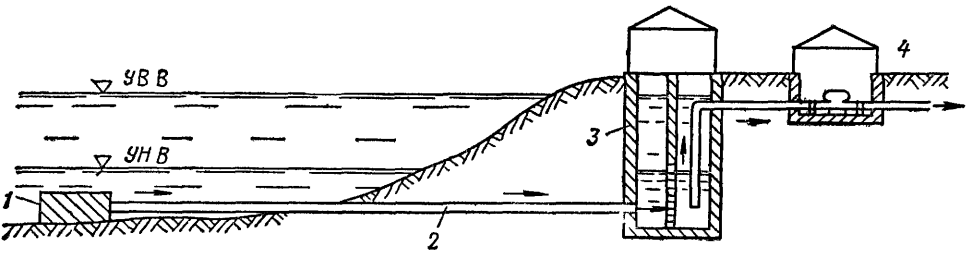


Рис IV.12

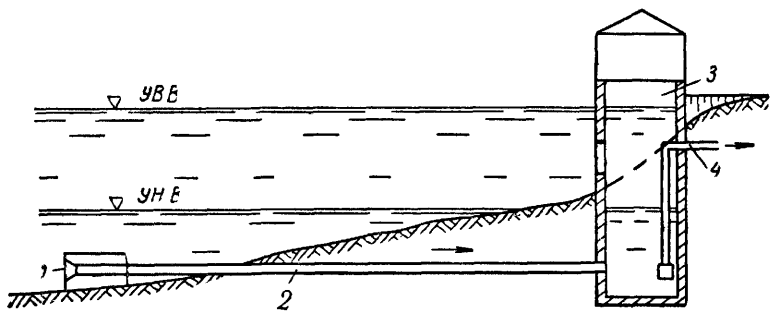


Рис IV 13

1 — оголовок *2* — самотечные трубы, *3* — береговой колодец, *4* — к насосам

На рис. IV.12 показана принципиальная схема руслового водоприемника. Здесь непосредственный прием воды из реки производится через оголовок *1*, конструктивное оформление которого зависит от количества забираемой воды, глубины реки, ее ледовых условий, характера грунта и т. д. От оголовка вода по самотечным линиям *2* подводится к береговому колодцу *3*. Его конструкция и оборудование несколько отличаются от обычного водоприемника берегового типа, поскольку вода из источника поступает в него не через входные окна, а по самотечным трубам. Так же как и водоприемник берегового типа береговой колодец обычно состоит из приемного и всасывающего отделений и снабжен сетками для грубой механической очистки воды. Береговой колодец может быть устроен раздельным или совмещен с насосной станцией *4*.

При определенных условиях (профиль берега, амплитуда колебаний уровня воды) устраивают комбинированный водоприемник (рис. IV.13), где забор воды при высоком стоянии уровня производится через входные окна в передней стенке берегового колодца, как и в обычном водоприемнике берегового типа.

При значительных колебаниях уровня воды водоприемники руслового типа иногда устраивают с двумя ярусами самотечных труб для возможности приема воды с наименьшим количеством взвеси.

В некоторых случаях в целях уменьшения глубины укладки самотечных линий их заменяют сифонными линиями.

б. Оголовки

Все типы приемных оголовков можно разделить на три группы: постоянно затопленные, затопляемые высокими водами и незатопляемые.

Несмотря на то что обслуживание затопленных оголовков связано с определенными трудностями и неудобствами (их недоступность в паводки), они имеют в практике наиболее широкое распространение, так как значительно дешевле незатопляемых оголовков. Постоянно затопленные оголовки имеют то преимущество, что не подвергаются воздействию ледовых нагрузок.

Затопленные оголовки можно разделить на два типа. Оголовки первого типа служат лишь для укрепления и защиты от повреждения приемных концов самотечных линий, забирающих воду непосредственно из реки; оголовки второго типа образуют приемную камеру, куда поступает речная вода и к которой присоединяются приемные концы самотечных линий.

На судоходных и лесосплавных реках над оголовком должен быть установлен освещаемый ночью сигнальный знак типа, применяемого управлением речного транспорта.

На рис. IV.14 показано устройство простейшего затопленного оголовка первого типа, закрепляющего приемный конец самотечной линии (имеющий форму раструба) на сваях. Раструб снабжен съемной решеткой, аналогичной по назначению и величине просветов решетке во входных окнах водоприемника берегового типа. В данном случае вся самотечная линия располагается над дном реки на свайных опорах.

При прокладке самотечной линии по дну или под дном линия в месте приема воды должна заканчиваться вертикальным или наклонным отростком с раструбом.

Для защиты раструба от повреждения льдом или плавником используют кусты свай, располагаемые выше по течению реки, или ог-

раждающие свайные стенки. Более надежная защита концов самотечных труб и обеспечение наилучших условий приема воды достигаются при устройстве приемных оголовков специальной конструкции.

По материалу оголовки бывают деревянными (свайными или ряжевыми), бетонными и железобетонными.

Ряжевые оголовки в течение долгого времени имели широкое применение в практике водоснабжения, а иногда применяются и теперь. Оголовки этого типа построены на многих водопроводах.

На рис. IV.15 изображен ряжевый оголовок с наклонным расположением сороудерживающих решеток.

В последнее время ряжевые оголовки вытесняются более совершенными типами оголовков — бетонными и железобетонными. Бетонные оголовки, обладающие относительно большей массивностью, чем ряжевые, и более обтекаемой формой, применяют обычно при значительных количествах забираемой воды.

На рис. IV.16 показан бетонный оголовок (в металлическом кожухе). Гипрокоммунводоканала производительностью 1,5 м³/с. Прием воды осуществляется с двух сторон через закрытые металлическими решетками окна в продольных стенках оголовка. Оголовку придана обтекаемая форма. Металлический кожух заполняется бетоном (способом подводного бетонирования). Забираемая вода подается на берег по двум стальным самотечным трубам. Для предотвращения обмерзания решеток предусмотрен их обогрев электрическим током.

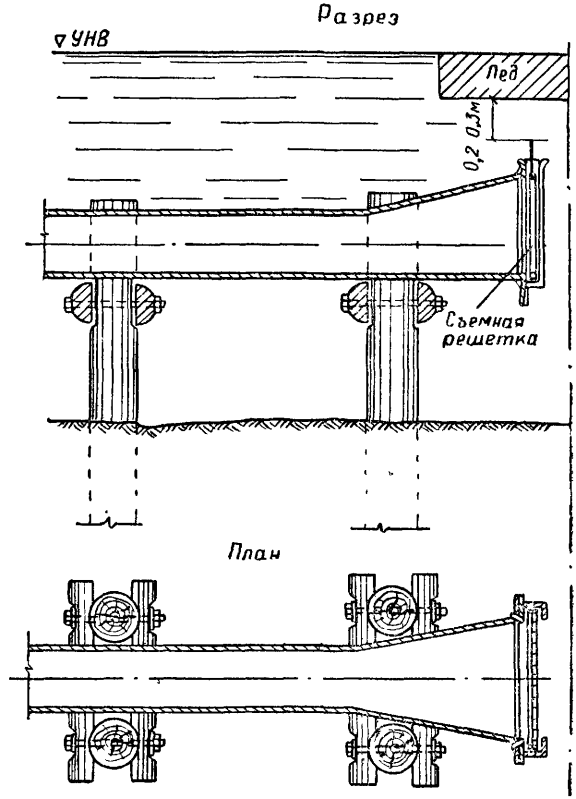


Рис. IV.14

На рис. IV.17 показан железобетонный оголовок с двусторонним приемом воды производительностью 1 м³/с (размеры в скобках даны для оголовка при глубине воды в реке 3,5 м). Вода поступает в оголовок через окна в боковых стенках и отводится по двум самотечным трубам, примыкающим к торцовым стенкам двух водоприемных камер, разделенных диагональной перегородкой.

По такому же принципу устраиваются и новые ряжевые оголовки.

Незатопляемые оголовки более удобны для эксплуатации и обеспечивают наибольшую надежность бесперебойной подачи воды, но представляют собой весьма дорогостоящие устройства. Эти сооружения (рис. IV.18) подобны полым промежуточным опорам моста.

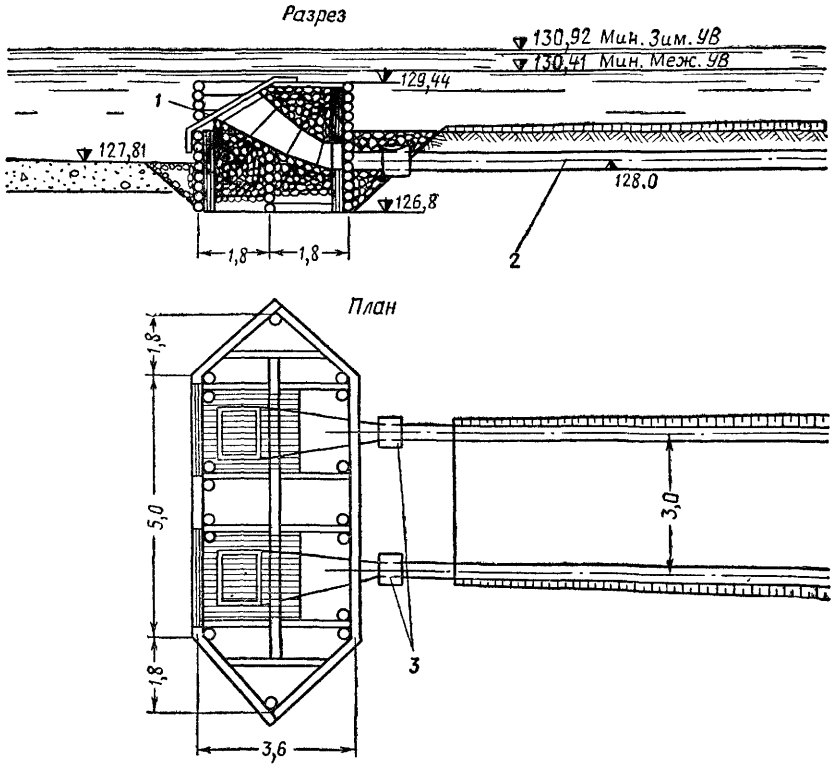


Рис. IV.15

1 — деревянная решетка; *2* — самотечная линия диаметром 450 мм; *3* — надвижные муфты

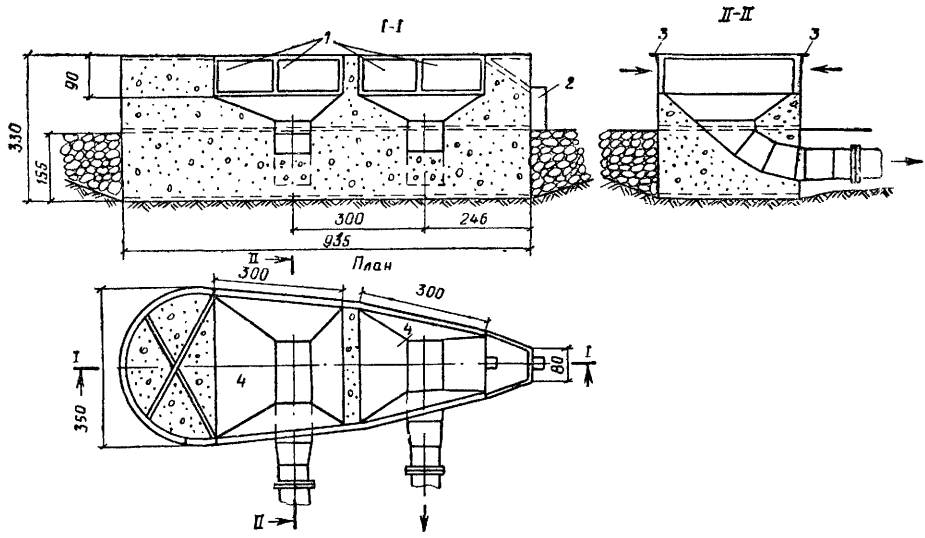
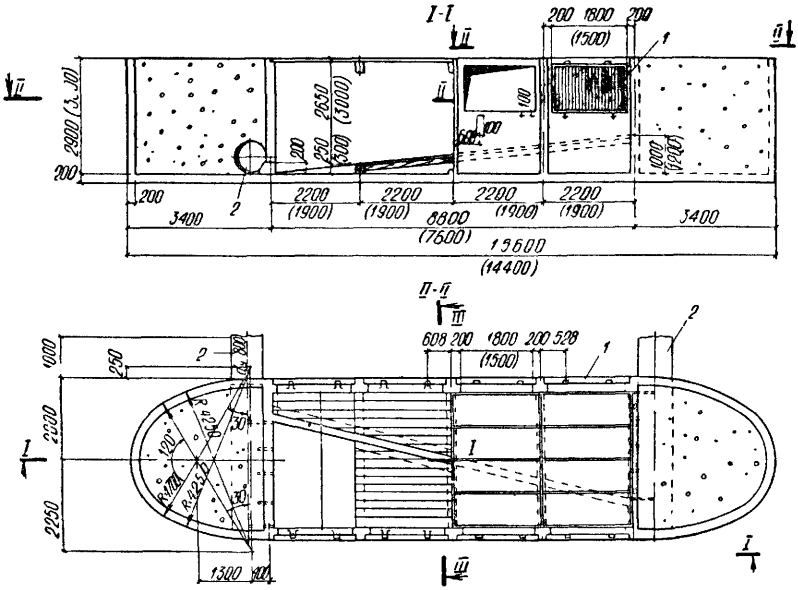


Рис. IV.16

1 — отверстия для решеток; *2* — коробка электрокабеля; *3* — рамы для решеток; *4* — воронки



Верх колодца должен превышать наивысший расчетный уровень воды на 0,5—1 м. Такие сооружения часто называют «крибами».

Своеобразной разновидностью их является оголовок незатопляемого типа, совмещенный с насосной станцией. В этом случае из схемы водоприемника руслового типа выпадают береговой колодец и самотечные линии. Вода от оголовка, совмещенного с насосной станцией, подается на берег напорными трубами, укладываемыми по дну реки, мосту или эстакаде. В оголовке в этом случае должны быть установлены сетки для процеживания воды.

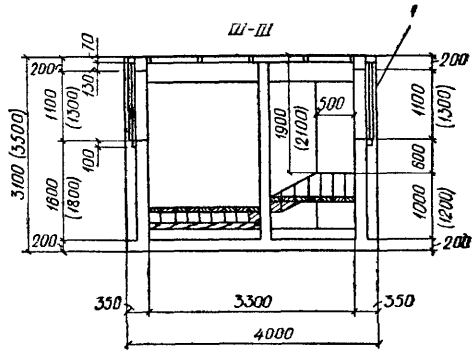


Рис. IV 17

1 — сооруживающие решетки; *2* — самотечные трубы

в. Самотечные и сифонные линии

В целях обеспечения бесперебойной подачи воды все основные элементы водоприемных сооружений, как правило, дублируются. Поэтому число самотечных линий, соединяющих оголовок с береговым колодцем (как и число их секций), должно быть не менее двух.

Диаметр труб самотечных линий определяется в зависимости от заданного расхода и принятого значения расчетной скорости.

При работе насосов уровень воды в приемном отделении берегового колодца опускается ниже уровня воды в реке на высоту, равную потерям напора, обусловленным гидравлическими сопротивлениями при движении воды по самотечным линиям. Потери напора зависят от скорости движения воды по самотечным линиям. Во избежание больших потерь

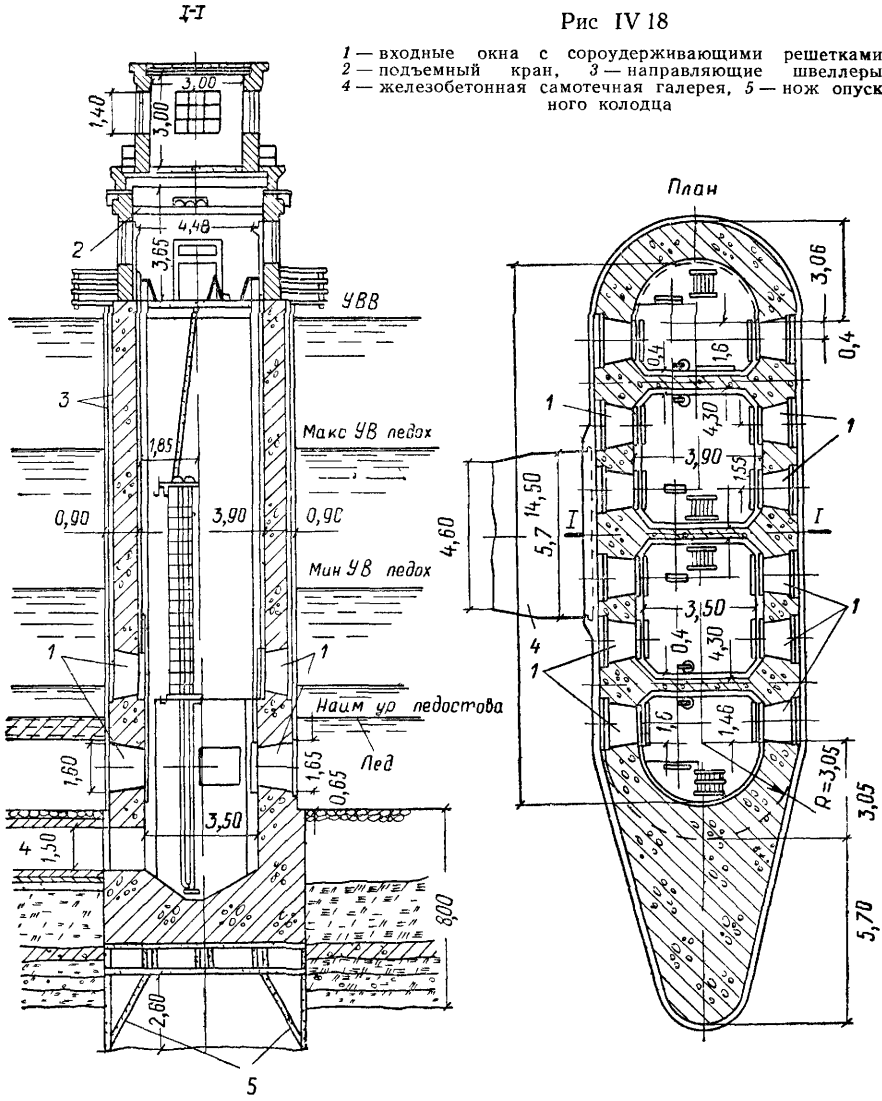


Рис IV 18

1 — входные окна с сороудерживающими решетками; *2* — подъемный кран, *3* — направляющие швеллеры; *4* — железобетонная самотечная галерея, *5* — нож опускного колодца

напора, а следовательно, и излишне большого заглубления берегового колодца скорость движения по самотечным линиям не должна быть большой. Вместе с тем она не должна быть настолько малой, чтобы обусловливать обильное выпадение взвеси в трубах.

Действующие строительные нормы рекомендуют принимать для самотечных линий водоприемников руслового типа расчетную скорость движения воды при нормальной работе сооружения (при отборе заданного расчетного расхода и включении всех линий) в пределах от 0,7 до 1,5 м/с. Большие значения следует принимать для больших расчетных расходов, при большем содержании взвеси и при относительно малой длине линий.

Самотечные линии должны быть проверены на незаиляемость при принятой скорости движения воды, принятом диаметре труб и характеристиках взвеси, содержащейся в воде, забираемой из источника.

Вопросу исследования незаиляющих скоростей и транспортирующей способности потоков были посвящены многочисленные работы

отечественных и зарубежных ученых (В. Н. Гончаров, В. И. Леви, Е. А. Замарин и др.). Строительные нормы рекомендуют производить проверку самотечных линий на незаиляемость по формуле А. С. Образовского, приведенной к такому виду:

$$\rho \leqslant 0{,}11 \left(1 - \frac{\sigma}{u}\right)^{4{,}3} \frac{v^3}{g\sigma D},$$

где ρ — мутность речной воды в кг/м³;

σ — средневзвешенная гидравлическая крупность взвеси в м/с

u — скорость выпадения частиц взвеси, равная

$$u = \frac{\sqrt{g}}{C} v$$

(здесь C — коэффициент Шези, принимаемый в зависимости от материала труб; v — скорость движения воды в трубе в м/с);

D — диаметр трубы в м.

При соблюдении приведенного неравенства можно считать, что принятая скорость v обеспечивает незаиляемость линии.

Самотечные линии следует по возможности укладывать без каких-либо поворотов в плане или в вертикальной плоскости. Они могут располагаться горизонтально, а также с прямым или обратным уклоном.

Для самотечных линий используют обычно стальные или железобетонные трубы. В пределах русла реки трубы укладывают в специально устроенную траншею (ниже дна реки). На участке примыкания к оголовку трубы должны быть уложены на достаточно прочное основание.

Укладка труб самотечной линии на всей длине по дну реки и обсыпка их приводят к образованию донной полузапруды, вызывающей местное увеличение скоростей движения воды и создающей опасность подмыва основания оголовка. При необходимости прокладки труб по дну требуется особо тщательное устройство основания под ними и укрепление самих труб.

Несмотря на попытки создать режим работы самотечных труб, при котором исключалось бы их заиление, полностью предотвратить осаждение взвесей в этих трубах обычно не удается. В результате трубы постепенно заиляются и требуют периодической очистки. Наиболее часто применяемым способом очистки самотечных труб является промывка их обратным током воды.

Промываемая самотечная линия выключается из работы и в нее подается вода от напорных водоводов. В это время вторая самотечная линия (или все остальные, если их несколько) продолжает работать.

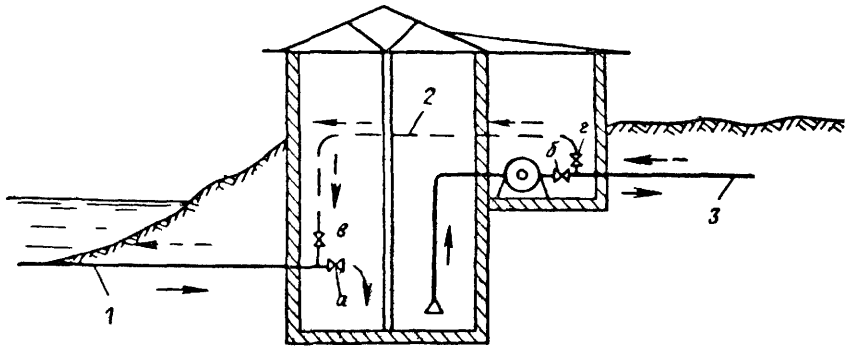
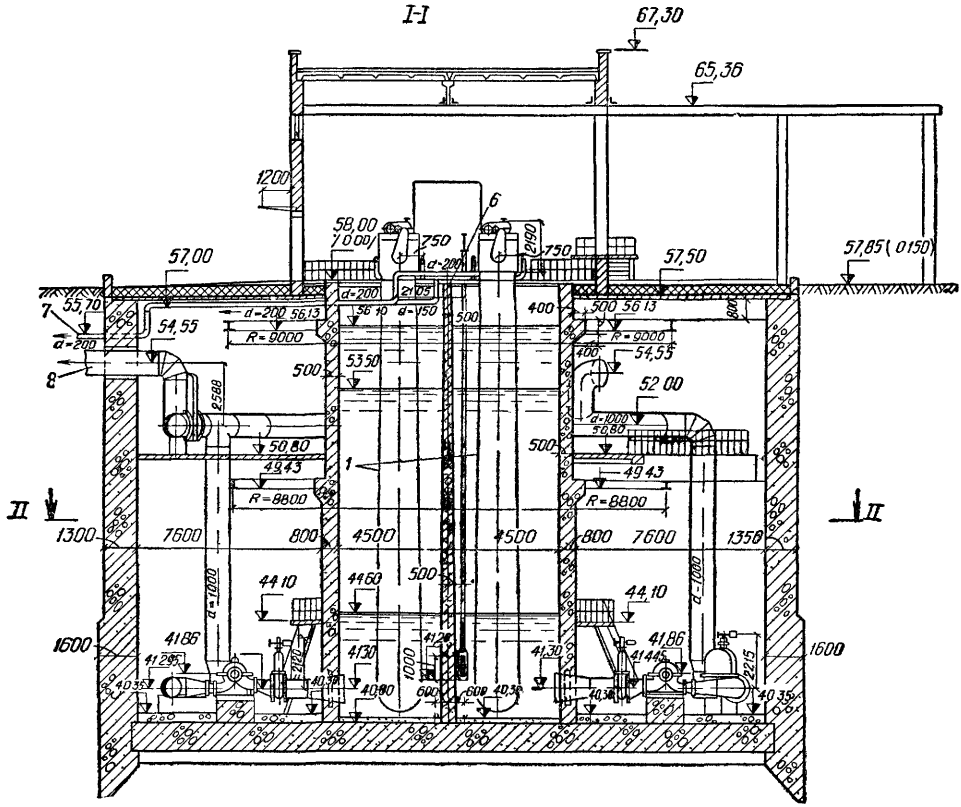
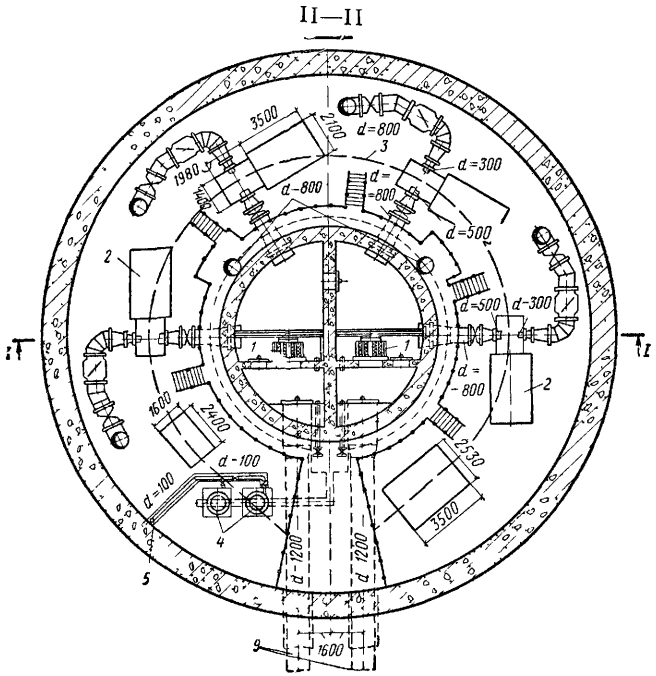


Рис. IV.19

1 — самотечная линия; *2* — обводная линия; *3* — напорный водовод


I-I
67,30
65,36
57,00
57,50
57,85 (0150)
58,00
7,00
55,70
54,55
52,00
50,80
49,43
44,10
41,86
40,35
II
II
1300
7600
800
4500
4500
800
7600
1350
1600
1600
1200
2588
2190
2215
1000
500
400
R=9000
R=8800
d=200
d=1000
d=150
56,13
56,10


II—II
3500
2100
1980
d=800
d=300
d=500
d=300
d=800
d=800
2400
2530
3500
1600
d=100
d=100
d=1200
d=1200
1600
I
I

Устройство переключений между водоводами, позволяющее осуществлять промывку, схематически показано на рис. IV.19. Вода для промывки подается по обводной трубе (пунктирная линия), соединяющей напорный водовод с самотечной линией. При этом задвижки *а* и *б* закрываются, а *в* и *г* открываются.

Для достижения требуемого эффекта промывки необходимо создать в самотечной линии такие скорости, которые обеспечивали бы взмучивание отложившегося на дне труб осадка и его вынос. «Взмучивающая» скорость зависит от средневзвешенного диаметра осевших частиц d и внутреннего диаметра труб промываемой линии D.

Многочисленные экспериментальные исследования позволили дать приближенную формулу для определения требуемой скорости промывки

$$v \geqslant A(dD)^{0,25},$$

где коэффициент A принимается в пределах 7,5—10.

Большие значения A обеспечивают более высокий эффект промывки, но требуют большего расхода промывной воды. Для создания требуемой скорости промывки обычно приходится подавать в самотечную линию расходы, значительно превосходящие ее нормальную производительность. Это можно обеспечить работой нескольких насосов на одну линию или обратным пуском воды из напорного водовода, если бак, в который подается вода, расположен достаточно высоко.

Сифонные линии (устраиваемые иногда вместо самотечных) позволяют снизить глубину заложения труб, что особенно важно при прокладке их в сильно водоносных грунтах или в твердых породах. Сифонные линии укладывают с подъемом в сторону берегового колодца. В верхней, переломной точке сифонной трубы (в колодце) должна быть предусмотрена возможность выпуска воздуха как для зарядки сифона, так и в процессе эксплуатации Для этого здесь помещают вакуум-котел и к нему присоединяют трубу от вакуум-насоса, установленного на насосной станции.

г. Береговые колодцы

Береговые колодцы, как и обычные водоприемники берегового типа, устраивают раздельными или совмещают с насосными станциями (последнее — чаще).

На рис. IV.20 показан береговой колодец, совмещенный с насосной станцией первого подъема. Две самотечные линии подводят воду к центральному приемному отделению с вращающимися сетками. Пройдя через эти сетки, вода поступает во всасывающее отделение, из которой забирается насосами.

На рис. IV.21 показана одна из новых оригинальных конструкций водоприемника руслового типа для приема воды в условиях значительных сезонных колебаний уровня воды в реке. Из затопленного железобетонного оголовка вода поступает в береговой колодец, совмещенный с насосной станцией, оборудованной вертикальными насосами. Для промывки самотечных линий предусмотрен новый метод «импульсной промывки».

Рис. IV 20

1 — вращающиеся сетки; *2* — насосы марки 20Д-6 с электродвигателями марки СДН 14-49-6, *3* — ось монорельса, *4* — грязевые насосы, *5* — напорный трубопровод от грязевых насосов *6* — трубопровод для подачи воды; *7* — трубопровод для отвода воды после промывки сеток; *8* — напорный трубопровод $d_у$=1000 мм; *9* — самотечные линии

В заключение следует указать, что иногда в схему узла водоприемных сооружений (обычно руслового типа) включают отстойники в виде выкопанных в земле бассейнов. Схема компоновки такого узла сооружений показана на рис. IV.22. От оголовка *1* вода поступает по самотечным линиям *2* к береговому колодцу *3*, совмещенному с насосной станцией. От самотечных линий устроены ответвления к отстойникам *4*. В смотровых колодцах *5* расположены задвижки, позволяющие осуществлять переключения и в период повышенной мутности

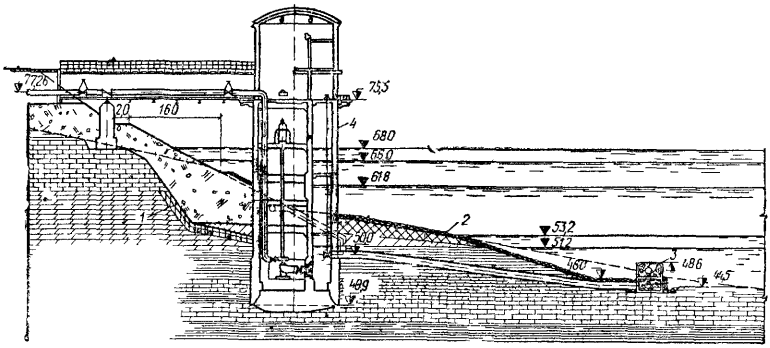


Рис IV 21

1 — граница строительного котлована; *2* — каменная наброска $h=0,6$ м; *3* — оголовок, *4* — береговой колодец, совмещенный с насосной станцией

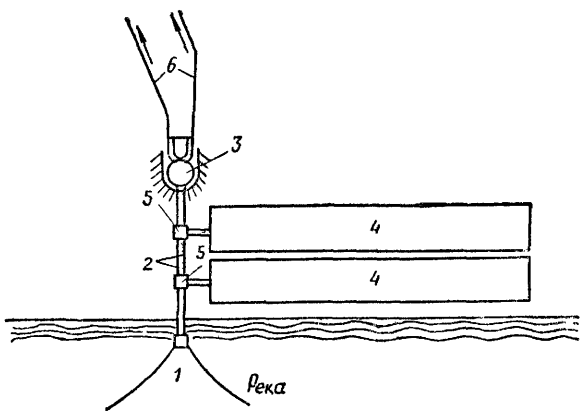


Рис IV 22

воды в реке направлять ее сначала в отстойники и лишь после ее осветления — к береговому колодцу. Насосная станция подает воду в напорные водоводы *6*.

§ 60. ПЛАВУЧИЕ ВОДОПРИЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ)

Как было сказано ранее, одной из причин, затрудняющих устройство водоприемных сооружений, является колебание уровня воды в реке.

В водоприемниках всех рассмотренных типов насосы устанавлива-

ются на некоторой определенной отметке, обеспечивающей допустимую высоту всасывания при наинизшем уровне воды в реке.

Сооружения, описываемые в настоящем параграфе, основаны на совершенно ином принципе; в них отметка насосов изменяется в соответствии с сезонными колебаниями уровня воды в реке так, что высота всасывания остается постоянной. Для этого насосы устанавливают на барже или понтоне (рис. IV.23). Подъем или опускание такой насосной установки одновременно с изменением уровня воды в реке обеспечивает постоянную (небольшую) высоту всасывания насосов. Чтобы плавучая насосная установка не была снесена течением реки, ее закрепляют якорями.

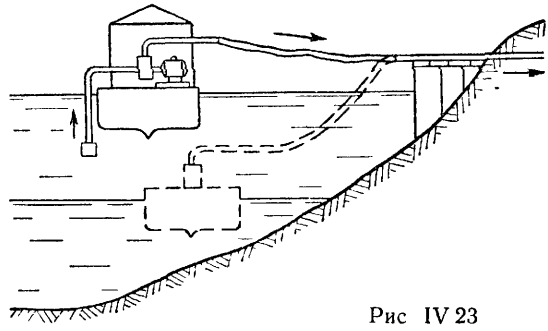


Рис IV 23

Определенные трудности возникают в обеспечении надежной подачи воды с баржи на берег. Конец напорного водовода, уложенного на берегу (или на эстакаде, выходящей в русло реки), должен быть соединен с напорной трубой, идущей от насоса, отметка которого изменяется с изменением уровня воды. Соединение таких взаимно перемещающихся концов труб устраивается гибким — например с помощью шлангов или специального шарнирного стыка. Конструкция таких соединений, особенно в случаях относительно больших внутренних давлений в водоводах, не обеспечивает требуемой степени надежности.

Кроме того, плавучие насосные установки приходится размещать в бухтах, затонах или заливах (естественных или искусственно созданных), где они могут быть надежно защищены от ударов льдин, плывущих бревен и т. д., поскольку перемещение насосной установки вследствие подобных воздействий может привести к разрыву напорных линий. Основными недостатками плавучих насосных установок является относительная сложность их эксплуатации в определенные периоды года и недостаточная надежность.

Плавучие насосные установки нашли некоторое применение в условиях большого колебания уровней, в основном при относительно небольших расходах подаваемой воды и возможности их защиты от снесения течением.

Для небольших временных водопроводов, а также в сельскохозяйственных водопроводах применяют, кроме того, плавучие насосные агрегаты специальной конструкции, подающие воду на берег по гибким шлангам, лежащим на дне реки. Такие агрегаты могут легко переноситься с одного места на другое.

§ 61. ВОДОПРИЕМНЫЕ КОВШИ

При необходимости отбора из рек больших количеств воды в определенных условиях может оказаться экономически целесообразным и эффективным устройство водоприемных ковшей.

Водоприемный ковш представляет собой своеобразный искусственно сделанный залив, который образуется дамбой, вынесенной в русло реки (рис. IV.24), или специально отрытой выемкой (рис. IV.25).

Ковши могут иметь верховой вход (рис. IV.24, *а* и IV.25, *а*) или низовой вход (рис. IV.24, *б* и IV.25, *б*) по течению реки. В отдельных случаях устраивают два входа в ковш — верховой и низовой.

Вода забирается из ковшей водоприемными сооружениями *В* (преимущественно берегового типа), располагаемыми в конце ковшей.

Использование ковшей особенно эффективно на шугоносных реках. В ряде случаев ковш позволяет успешно бороться с затруднениями, которые возникают при заборе воды в условиях образования

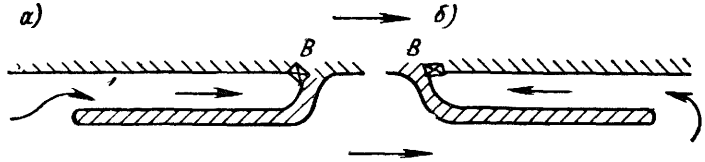


Рис. IV.24

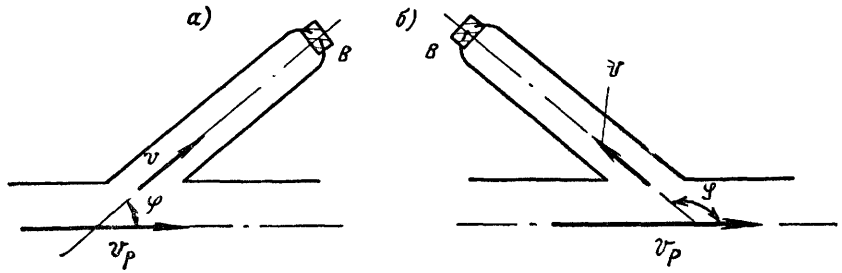


Рис. IV.25

внутриводного льда[1]. Малые скорости движения воды в ковше (порядка 5—15 см/с в среднем по сечению ковша) обусловливают более раннее образование ледяного покрова, что исключает возможность переохлаждения воды в ковше и появления глубинного льда. Благодаря малым скоростям шуга, занесенная в ковш из реки, всплывает и смерзается с поверхностным льдом. Таким образом, условия работы водоприемника при заборе воды из ковша, а не непосредственно из шугоносной реки значительно улучшаются.

Следует отметить, что в районах с особенно тяжелыми ледовыми условиями ковши не всегда могут обеспечить надежную защиту водоприемника; в этих случаях требуется применение дополнительных мер по борьбе с обмерзанием водоприемных устройств: обогрев решеток, сброс перед водоприемником теплой отработанной воды (в производственных водопроводах).

Водоприемные ковши используют не только для борьбы с шугой, но иногда и для частичного осветления воды, забираемой из рек, несущих большие количества взвеси.

На реках с недостаточными глубинами ковши могут устраиваться для увеличения глубины у места забора воды и для улучшения условий подвода воды из русла реки к водоприемнику. В этих случаях дно ковша располагают на 1—1,5 м ниже дна реки, благодаря чему отпадает необходимость в возведении водоподъемной плотины.

[1] Основные сведения о внутриводном льде даются в курсе «Гидрология и гидротехнические сооружения».

Проще и дешевле устраивать ковши в русле реки путем сооружения дамбы (см. рис. IV.24). Если ковш предназначен для борьбы с шугой, то отметка гребня дамбы должна быть выше отметки уровня воды в период шугохода, но в другие периоды дамба может заливаться высокими водами. В ковшах, используемых для осветления забираемой воды, дамба устраивается незаливаемой.

В тех случаях когда стеснение русла реки дамбой нежелательно, ковш отрывают в береге реки. Иногда устраивают ковши, частично вынесенные в реку и частично врезанные в берег, что может сократить объем и стоимость работ. Угол φ, образуемый осью ковша с направлением течения реки, может меняться в весьма широких пределах.

Исследованию вопросов гидравлики водоприемных ковшей и разработке теории и методов их гидравлического расчета посвящено много ценных работ советских ученых (А. Я. Милович, В. А. Альтберг, М. М. Гришин, Н. Г. Малишевский, Н. С. Макеров, А. С. Образовский, П. Н. Белоконь и др.).

Детальный анализ работы водоприемных ковшей, а также разработка системы основных расчетных параметров приведены в одной из последних монографий А. С. Образовского[1].

Гидравлический режим работы водоприемных ковшей очень сложен. Он зависит от типа и формы ковша, расположения его по отношению к руслу реки, типа входа в ковш и количества воды, отбираемой из реки. Режим работы ковша меняется при сезонных изменениях уровня и скоростей течения воды в реке.

А. С. Образовский дает подробный анализ возможных режимов отбора воды из реки в ковш.

Можно различать два основных характерных режима отбора — режим деления и режим водообмена.

Режим деления возникает при отборе из реки относительно больших количеств воды (по сравнению с расходом воды в реке). При этом в реке ниже места отбора воды глубины и скорости течения уменьшаются, т. е. в русле реки образуется кривая спада. Таким образом, при режиме деления отбор воды оказывает существенное влияние на речной поток. При входе в ковш уровень воды несколько понижается и она поступает в ковш со скоростями, равными скоростям течения воды в реке или бóльшими их. Это создает условия, способствующие вовлечению в ковш донных наносов.

Схема токов воды на входе в ковш при режиме деления показана на рис. IV. 26, *а*.

При входе в ковш образуются водоворотные зоны, занимающие значительную часть его сечения.

В ковше может быть выделена основная транзитная струя, т. е поток воды, идущий от входа в ковш до водоприемника. Расход этого потока равен количеству воды $Q_в$, забираемой водоприемником. Ширина транзитной струи значительно меньше ширины ковша, а поэтому ее скорость течения $v_т$ значительно больше средней расчетной скорости по сечению ковша v.

Режим водообмена возникает при отборе из реки относительно малых количеств воды (по сравнению с расходом воды в реке). При этом режиме на входе в ковш образуется система водоворотов, занимающих бóльшую часть его ширины. Значительная часть воды, входящей в ковш, выходит из него обратно в русло реки. Создается своеобразная застой-

---

[1] А. С. Образовский (ВНИИ ВОДГЕО). Гидравлика водоприемных ковшей М., Госстройиздат, 1962.

ная зона, в которой происходит как всплывание шуги, так и выпадение взвеси. Это обеспечивает защиту ковша от занесения в него наносов и шуги.

На рис. IV. 26, *б* схематически показано направление токов воды на входе в ковш при режиме водообмена.

Интенсивность водообмена зависит от угла φ, образуемого осью ковша с направлением течения реки; она будет тем больше, чем меньше угол φ.

При режиме водообмена разница уровней воды в ковше и в реке весьма мала.

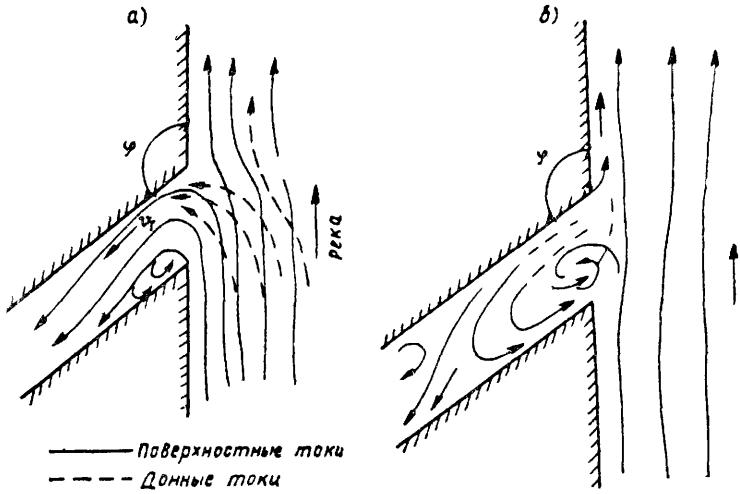


Рис. IV 26

В качестве численного критерия для определения режима отбора А. Я. Миловичем и А. С. Образовским предложено использовать величину отношения

$$M = \frac{v}{v_р},$$

где v — средняя скорость движения воды в ковше;
$v_р$ — скорость течения воды в реке.

Для ковшей, врезанных в берег при угле $\varphi = 135°$, режим водообмена будет иметь место, если $M \leqslant 0{,}044$. При других значениях угла φ (от 150 до 30°) численный критерий M меняется соответственно от 0,042 до 0,081.

Режим деления будет иметь место (для ковшей, врезанных в берег при угле $\varphi = 135°$) при $M \geqslant 0{,}132$. Для других значений угла φ (от 150 до 30°) численный критерий M будет меняться в пределах от 0,125 до 0,242.

Следует отметить, что для одного и того же ковша при сезонном изменении расхода воды в реке режим отбора может существенно меняться (при постоянном количестве забираемой из ковша воды $Q_в$). Так, в межень может иметь место режим деления, а в паводки — режим водообмена. В остальное время ковш будет работать в некотором переходном режиме. Схема токов воды в ковше при переходном режиме показана на рис. IV.27. Переходный режим характеризуется относительно

малым расширением транзитной струи в ковше (на рисунке заштриховано).

Гидравлический расчет самого ковша заключается в определении его основных размеров по заданному количеству забираемой воды $Q_в$. Однако условия гидравлического режима работы ковша довольно сложны, и принимаемые в нем скорости движения воды должны удовлетворять целому ряду требований.

Прежде всего средняя скорость v движения воды в ковше, предназначенном для борьбы с шуголедовыми явлениями, должна обеспечивать всплывание шуги в нем. Скорость v должна быть меньше так называе-

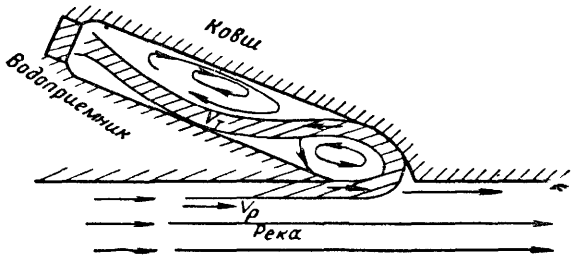


Рис IV 27

мой первой критериальной скорости $v_{к-1}$, соответствующей нижнему пределу шугоносности потока. В соответствии с наблюдаемыми размерами кристаллов внутриводного льда величина $v_{к-1}$ принимается равной 0,5 м/с. А. С. Образовский рекомендует принимать средние расчетные скорости движения воды в ковше не более 60% указанной критериальной скорости, т. е.

$$v \leqslant 0{,}6\ v_{к-1},\ \text{или}\ v \leqslant 0{,}3\ \text{м/с}.$$

Нижний предел значений v обычно принимают равным 0,05 м/с.

Имея заданное расчетное количество забираемой воды $Q_в$ и приняв (в соответствии с приведенными выше соображениями) скорость движения воды в ковше v, можно определить его длину l и ширину B.

Для определения длины ковша l, обеспечивающей всплывание занесенной в него шуги, могут служить формулы, по которым производится расчет отстойников. В общем виде

$$l = \alpha H \frac{v}{u_ш},$$

где α — коэффициент, учитывающий увеличение местных скоростей из-за неполноты использования сечения ковша (а иногда и некоторый запас);

H — глубина воды в ковше;

v — средняя расчетная скорость движения воды в ковше;

$u_ш$ — скорость всплывания шуги.

Точность расчета по этой формуле зависит, очевидно, от точности используемых в ней значений v и $u_ш$. Ранее в качестве v принимали среднюю по сечению скорость, вводя в формулу соответствующие поправочные коэффициенты.

А. С. Образовский предложил методику расчета ковшей, в большей степени учитывающую реальные условия их работы. По средней расчетной скорости, лежащей в пределах 0,05—0,15 м/с, он рекомендует определять лишь поперечное сечение ковша. При этом принимают тем мень-

шее значение скорости, чем больше скорость течения воды в реке и чем сложнее шуголедовые условия.

Расчетную длину ковша $l_т$, необходимую для всплывания кристаллов внутриводного льда и шуги, А. С. Образовский предлагает определять, используя реальные скорости течения воды в постепенно расширяющейся транзитной струе и реальные скорости всплывания шуги $u_ш$ = =0,016—0,02 м/с.

Расчетная формула для определения $l_т$ имеет вид

$$l_т = \frac{\psi}{\operatorname{tg}\beta}\left(\sqrt{b_н^2 - 2\operatorname{tg}\beta\frac{Q}{u_ш}} - b_н\right),$$

где ψ — коэффициент, учитывающий турбулентное рассеяние (ψ= =1,2—1,4);

β — угол конусности транзитной струи ($\beta \approx 3°$);

$b_н$ — начальная ширина транзитной струи, равная

$$b_н = \frac{Q}{Hv_в}$$

(здесь Q — отбираемый расход; H — глубина воды в ковше; $v_в$ — фактическая скорость входа в ковш, равная 0,5 $v_р$ при режиме водообмена и 0,9 $v_р$ при режиме деления; $v_р$ — скорость течения воды в реке).

При указанных значениях ψ и β приведенная формула примет вид

$$l_т = 29\left(\sqrt{b_н^2 - \frac{0{,}105}{u_ш}Q} - b_н\right).$$

Учитывая, что некоторая часть длины ковша может быть занята отложениями шуги ($l_ш$=10—20 м), а его входная часть ($l_в$=B) охвачена нерабочими циркуляциями, полная длина ковша принимается равной:

$$L = l_т + l_в + l_ш.$$

Следует отметить, что точный учет действительных условий входа воды в ковш крайне затруднителен. Поэтому для столь дорогих и ответственных сооружений, как водоприемные ковши, совершенно оправданным является исследование режима работы проектируемых ковшей на моделях.

На основании обширных исследований А. С. Образовский рекомендует устраивать ковши с низовым входом с углом φ, близким к 135°. Ковши с верховым входом, согласно его исследованиям, не обеспечивают требуемого эффекта выпадения наносов и всплывания шуги. А. С. Образовский считает, что эти ковши могут быть использованы как отстойники для взвеси только при условии значительного сужения входа в них или при устройстве регулятора на входе.

Приведем примеры некоторых построенных или запроектированных ковшей.

На рис. IV.28 показан ковш с низовым входом, частично врытый в берег и частично вынесенный в русло реки. Расчетное количество забираемой воды 10—15 м³/с. Ковш огражден незатопляемыми в паводок дамбами (отметка меженного уровня 107 м, отметка уровня высоких вод 114,5 м). В связи с ростом водопотребления объекта потребовалась реконструкция ковша. При реконструкции был построен второй водоприемник B_2 и было произведено удлинение дамб (показано пунктиром) с устройством ограждающих шпор *а* и направляющей бортовой стенки *б*.

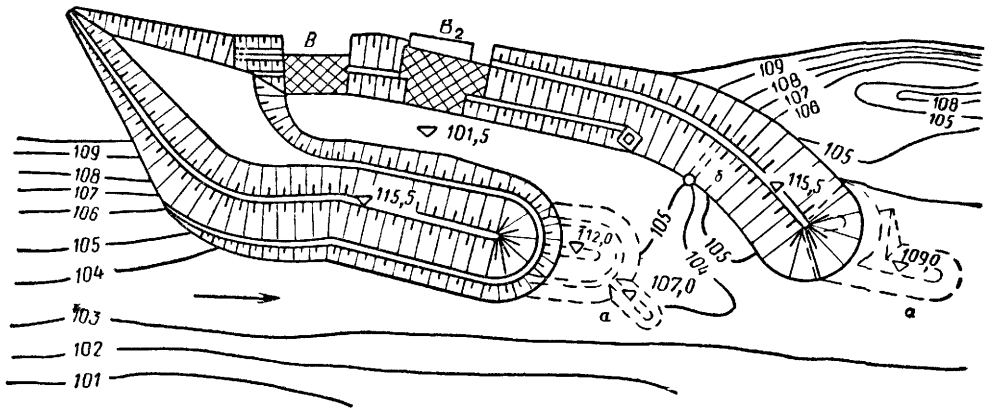


Рис. IV.28

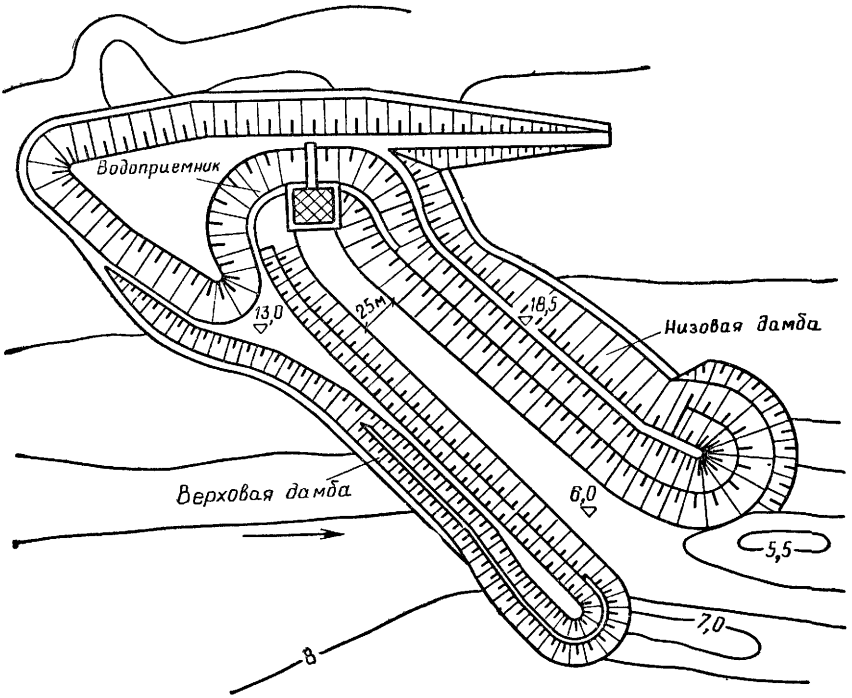


Рис. IV.29

На рис. IV.29 показан ковш с низовым входом, сильно вынесенный в русло. Ковш имеет затопляемую в паводок верховую дамбу и незатопляемую низовую дамбу, что обусловливает самопромывание ковша в паводок.

§ 62. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ РЕК С НЕДОСТАТОЧНОЙ ГЛУБИНОЙ

Иногда глубина воды в пределах всего поперечного сечения русла реки оказывается недостаточной для забора воды надлежащего качества. В таких случаях приходится прибегать к мероприятиям, позволяющим

увеличить глубину воды в реке у места водозабора. Эти мероприятия можно разделить на две основные группы: осуществление мероприятий первой группы приводит к созданию подпора у места водозабора, т. е. к местному повышению уровня воды в реке, мероприятия второй группы заключаются в углублении дна реки у водоприемника и обеспечении стабильности полученных глубин. Наконец, некоторые мероприятия ведут как к повышению уровня воды, так и к углублению дна в месте водозабора.

К специальным мероприятиям по углублению дна реки в месте водозабора относится устройство прорезей (подводных каналов) и различных регуляционных сооружений, обусловливающих такое переформирование потока, при котором обеспечиваются достижение требуемых глубин и стабильность дна. Прорези устраивают при помощи землечерпательных машин. Для большей устойчивости прорези направление ее выбирают в соответствии с направлением струи весеннего паводка (период наиболее сильного размывающего действия реки и наиболее высокого содержания в воде наносов); следует учитывать направление потока и при меженных уровнях. Прорезь делают сквозной. В большинстве случаев прорезь располагают у вогнутого берега реки. В процессе эксплуатации приходится периодически очищать прорезь от наносов.

Другим способом увеличения глубины у водоприемника является строительство водоподъемных плотин. К их сооружению приходится прибегать в тех случаях, когда глубина реки недостаточна для забора воды надлежащего качества и когда другие устройства для ее увеличения очень дороги или вовсе неприемлемы по местным условиям. Водоподъемные плотины, применяемые для обеспечения требуемых глубин в месте водозабора, могут быть глухими, т. е. с переливом воды через гребень (без затворов) или разборчатыми.

Плотина первого типа, обеспечивая требуемый уровень воды в реке, не позволяет регулировать уровень при сезонных изменениях расхода воды в реке. Кроме того, при глухих плотинах осложняется борьба с заилением верхнего бьефа. Глухие плотины применяют только при условии устройства промывного шлюза у водоприемника.

Строительство водоподъемных плотин позволяет также повысить величину возможного водозабора и, в некоторых случаях, обеспечивает сезонное регулирование стока.

Типы и конструкции плотин, применяемых для указанных целей, весьма разнообразны[1].

Разумеется, схема и конструкция плотинного узла сооружений должны учитывать характер использования реки для лесосплава, судоходства и рыбоводства.

Водоприемное сооружение может быть устроено отдельно или конструктивно объединено с плотиной. В первом случае могут быть использованы любые типы описанных речных водоприемников.

При конструктивном объединении водоприемника с плотиной он чаще всего совмещается с одним из устоев плотины или непосредственно к нему примыкает.

§ 63. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ ГОРНЫХ РЕК

Горные реки широко используются для целей водоснабжения. Малая загрязненность воды в их верхнем течении сточными водами дает им значительные преимущества при использовании в качестве источников питьевого водоснабжения. Кроме того, прием воды из горных рек

[1] Приводятся в курсе «Гидрология и гидротехнические сооружения».

иногда позволяет подавать ее потребителям самотеком. Имеются многочисленные примеры использования верхнего течения горных рек (иногда одновременно нескольких рек) для целей водоснабжения крупных и удаленных объектов. В ряде случаев при этом осуществляется регулирование и аккумуляция стока этих рек.

В то же время особенности режима течения горных рек создают часто значительные трудности для забора из них воды. Большие продольные уклоны верхних участков горных рек обусловливают наличие в них больших скоростей течения и относительно малых глубин. Горные реки влекут большое количество донных (относительно крупных) наносов, а также взвешенных наносов. Реки эти довольно часто обладают большой шугоносностью. На некоторых из них в период ливней наблюдаются сели. В отдельные периоды горные потоки несут много плавника. Расход их подвержен большим и резким колебаниям (иногда даже в течение суток). В предгорных участках нередко наблюдается значительная изменчивость русла рек.

Перечисленные особенности привели к необходимости создания водоприемных сооружений, специально приспособленных к работе в указанных условиях.

В большинстве случаев водоприемные сооружения на горных реках должны обеспечивать бесперебойное получение воды в условиях малых глубин, большого количества относительно крупных наносов и значительной шугоносности. Вследствие этого водоприем из горных рек весьма часто сопровождается созданием искусственного подпора и специальных устройств, препятствующих вовлечению наносов в водоприемник, а также осаждению вовлеченных наносов.

К числу специфических для горных рек типов водоприемных сооружений следует отнести донные решетчатые водоприемники. Пример устройства такого водоприемника, построенного на Кавказе, приведен на рис. IV.30. Русло реки перегорожено низкой бетонной глухой водосливной плотиной, образующей своеобразный водосливной порог. Между бычком и левобережным устоем в плотину врезана горизонтальная галерея, перекрытая решеткой. Вода, проходящая над этой галереей, поступает («проваливается») через решетку и отводится в водоприемную камеру, расположенную в левобережном устое. Конструкция водоприемной камеры предусматривает возможность ее промывки от задерживаемых в ней наносов. Водоприемная камера имеет обычно аварийные входные окна для забора воды на случай засорения или обмерзания решетки водоприемной галереи. Из приемной камеры вода по водоводам подается в первичные отстойники для осветления.

Конструкция такого водоприемника позволяет обеспечить прием воды при любых изменениях расхода и любых глубинах. Он может быть рекомендован для приема воды, содержащей относительно крупные наносы.

Этот тип водоприемника используют в широком диапазоне расходов (от 0,1 до 8 м^3/с).

В целях предотвращения забивки решеток камнем, их устраивают из стали таврового сечения (ребром вниз). Ширина прозоров должна быть меньше преобладающих (60—90%) размеров донных наносов. Практически прозоры имеют ширину 6—12 мм. Для возможности очистки их и галереи решетки устраивают подъемными — отдельными секциями длиной 1—2 м.

В месте установки водоприемной решетки желательно иметь продольный уклон реки $i \approx 0{,}02$. Сама решетка должна иметь уклон (в направлении течения воды) 0,1—0,2.

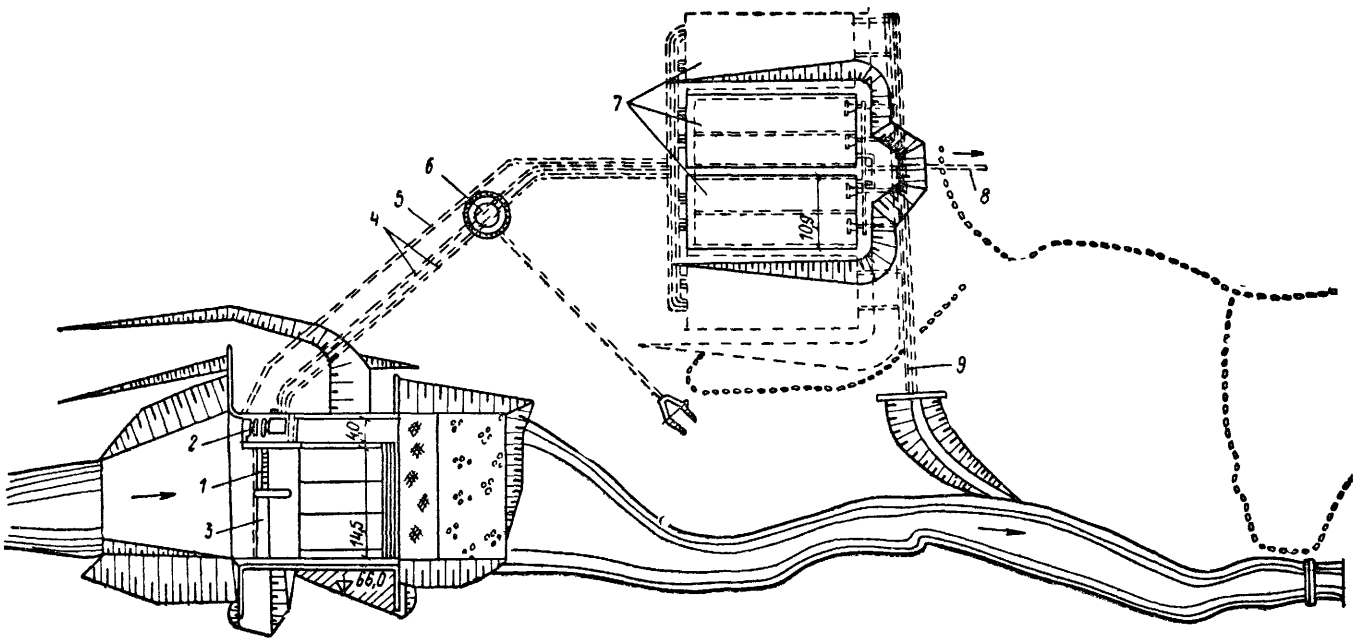


Рис. IV.30

1 – водоприемная часть плотины с решеткой; *2* — водоприемная камера; *3* — глухая водосливная часть плотины; *4* — подающие водоводы; *5* – промывной аварийный водовод; *6* — камера-регулятор; *7* — первичные отстойники; *8* — самотечный водовод; *9* — сброс промывной воды от отстойников

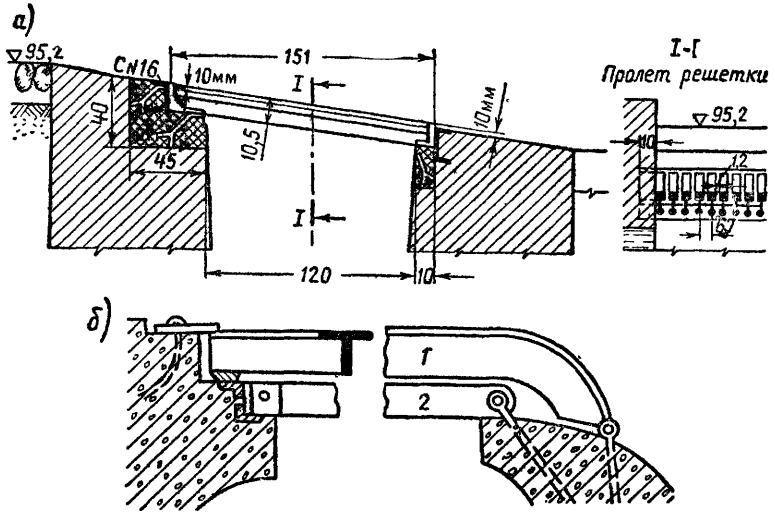


Рис. IV.31 (размеры в см)

Пример устройства одинарной решетки показан на рис. IV.31, *а*, а двойной — на рис. IV.31, *б*. Последние устраивают в случаях, когда река сносит крупные валуны. Верхняя решетка *1* из толстых стержней таврового сечения имеет прозоры 5—10 см и должна предохранять от повреждений нижнюю частую решетку *2*, служащую для задержания наносов. Звенья решетки укреплены на шарнирах для возможности их поднятия при очистке галереи.

Галерея имеет поперечное сечение в виде прямоугольника со скошенными углами. Ширину ее обычно принимают в пределах 1—2 м, начальную глубину — в зависимости от расчетного расхода. Дно галереи имеет продольный уклон $i=0{,}2$—$0{,}4$. Средняя скорость в конечном сечении галереи достигает 2—2,5 м/с.

Рассмотренный тип водоприемного сооружения применяется в различных вариантах и видоизменениях. Иногда перед донным водоприемником для снижения количества поступающих в него наносов устраивают специальную наносоперехватывающую галерею, располагаемую параллельно водоприемной галерее. Наносоперехватывающие галереи имеют различные конструкции, обеспечивающие их промывку от задержанных наносов.

В некоторых сооружениях конструкция донного водоприемника предусматривает возможность одновременного приема речной и подрусловой воды.

Тип водоприемных сооружений на горных реках в высокой степени зависит от сочетания местных природных условий. Вследствие этого в практике нашли применение разнообразные конструкции этих сооружений[1].

Следует отметить, что все используемые для забора воды из горных

[1] Многие типы и конструкции водоприемных сооружений на горных реках, так же как и другие специальные типы водоприемников, подробно и систематически описаны в книге «Специальные водозаборные сооружения». М., Стройиздат, 1963. Авторы Ф. И Бондарь, Н В. Ереснов, С. И. Семенов и И. Е. Суров учли богатый опыт проектирования и строительства водоприемных сооружений в СССР.

рек типы водоприемников не являются достаточно надежными в смысле обеспечения бесперебойности работы.

§ 64. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ И ОЗЕР

Все вопросы, связанные с проектированием и сооружением водохранилищ, методы регулирования речного стока, водохозяйственные расчеты, а также типы гидротехнических сооружений, применяемых при устройстве водохранилищ, рассмотрены в курсе «Гидрология и гидротехнические сооружения». Здесь даются лишь основные сведения о специфических особенностях водохранилищ как источников водоснабжения, о качестве воды водохранилищ и условиях их эксплуатации.

Для целей водоснабжения могут использоваться или специально построенные водохранилища или водохранилища, используемые одновременно для многих целей.

В результате развития гидроэнергетического строительства в нашей стране уже сейчас (когда имеющиеся гидроэнергетические ресурсы еще далеко не полностью использованы) наиболее крупные реки европейской части СССР превратились на значительной части своего протяжения в систему больших водохранилищ.

В маловодных районах Средней Азии, где относительно малый и неустойчивый сток местных рек не обеспечивает сколько-нибудь надежного снабжения потребителей водой, только строительство водохранилищ позволяет удовлетворить нужды орошения и водоснабжения.

Наконец, громадное количество относительно малых водохранилищ создано на небольших реках специально для целей водоснабжения.

Таким образом, в практике водоснабжения, основанного на использовании поверхностных вод, приходится все чаще встречаться с необходимостью приема воды из водохранилищ.

При проектировании и строительстве водоприемных (а также очистных) сооружений на водохранилищах необходимо учитывать изменения, вносимые водохранилищем в естественный гидрологический режим реки, а также влияние его на качество речной воды и на сезонные колебания ее качества, особенно если вода предназначается для питьевых нужд.

Характер изменения уровней воды в водохранилищах существенно отличается от характера изменений уровней воды в незарегулированной реке. В водохранилищах, сооружаемых для нужд гидроэнергетики и транспорта, колебание уровней воды обусловливается в основном запланированным режимом эксплуатации (сработки) водохранилища для указанных целей.

При устройстве водоприемных сооружений на крупных водохранилищах должны быть учтены возможные воздействия ветровых волн, явления сгона и нагона воды, береговые течения, ледовые явления, явления переформирования берегов водохранилищ, а также характер отложения наносов в чаше водохранилища.

Создание водохранилищ существенно влияет на основные характеристики качества речной воды. Прежде всего значительно снижается количество взвешенных веществ. Так, по проведенным наблюдениям количество взвеси снизилось в Клязьминском водохранилище (под Москвой) с 81 до 2—8 г/м^3, в Цимлянском водохранилище (на р. Дон) с 168 до 20—40 г/м^3; в Фархадском водохранилище (на р. Сырдарье) с 1645 до 60—100 г/м^3 и т. д.[1].

[1] Гигиена водохранилищ. Сборник статей. М., Медгиз, 1961.

Таким образом, водохранилище служит громадным первичным отстойником речной воды.

Цветность воды водохранилищ обычно выше цветности воды их реки в естественном состоянии, поскольку заполнение водохранилищ происходит преимущественно паводковой водой, обладающей повышенной цветностью. Так, вода Рыбинского водохранилища имеет цветность 66° в феврале и 61° в августе, тогда как цветность воды р. Волги в естественном состоянии в эти же месяцы составляет соответственно 21 и 48°. В период половодья цветность речной воды, наоборот, часто оказывается выше, чем цветность воды водохранилища.

Большие водохранилища обычно оказываются менее засоренными сапрофитными бактериями, а также кишечной палочкой.

Образование водохранилищ часто способствует интенсивному развитию водорослей.

Санитарные качества воды водохранилищ в значительной степени зависят от тщательности и полноты проведения мероприятий по очистке ложа водохранилища до его заполнения[1]. Объем работ по санитарной подготовке ложа крупных водохранилищ весьма велик.

Обычно сезонные колебания качества речной воды после создания водохранилища значительно сглаживаются.

При строительстве водохранилищ предусматриваются мероприятия по борьбе с их заилением, а также эрозией почв в береговой зоне.

На крупных водохранилищах производятся большие работы по укреплению берегов в целях их предохранения от размыва волнением.

Для задержания поверхностного стока и улучшения его качества до поступления в водохранилища проводятся агролесомелиоративные мероприятия, в частности посадка в береговой зоне водохранилища защитных полос зеленых насаждений.

При использовании воды водохранилищ в целях водоснабжения следует учитывать возможность ее загрязнения от водного транспорта, лесосплава, а также в результате сброса сточных вод, распространение которых в водохранилищах существенно отличается от распространения их в реках.

Весьма ответственной задачей является выбор места забора воды из водохранилища. Очевидно, что водоприемник должен быть расположен в таком месте, где он может принимать наиболее чистую воду.

В месте расположения водоприемника должна быть обеспечена достаточная глубина, не должны происходить интенсивное выпадение наносов, размыв берегов, неблагоприятные ледовые явления, развитие водной растительности и т. п. В водохранилищах, используемых комплексно для различных нужд народного хозяйства, при выборе места забора воды для целей водоснабжения необходимо учитывать еще целый ряд факторов, связанных с характером эксплуатации водоема другими водопользователями: режим сработки водохранилища для нужд ГЭС, забор и сброс воды промышленными предприятиями, расположение и режим работы сооружений речного транспорта, лесосплав и т. п.

Выбору места расположения водоприемника должно предшествовать также тщательное изучение образующихся в водохранилище течений, которые обусловливают распространение поступающих в воду загрязнений.

---

[1] В 1959 г. Государственной санитарной инспекцией утверждены «Санитарные правила по подготовке ложа водохранилищ и каналов к затоплению и санитарной охране их», обязательные для всех организаций, строящих водохранилища.

Для приема воды из водохранилищ могут быть использованы речные водоприемные сооружения большинства описанных ранее типов.

В отдельных случаях водоприемные сооружения объединяются с гидротехническими сооружениями, построенными для создания водохранилища и его эксплуатации, для нужд гидроэнергетики или водного транспорта. Такие водоприемники конструктивно совмещаются с плотиной (путем устройства водоприемных шахт и галерей в теле плотины), с башнями донных водоспусков и т. п.

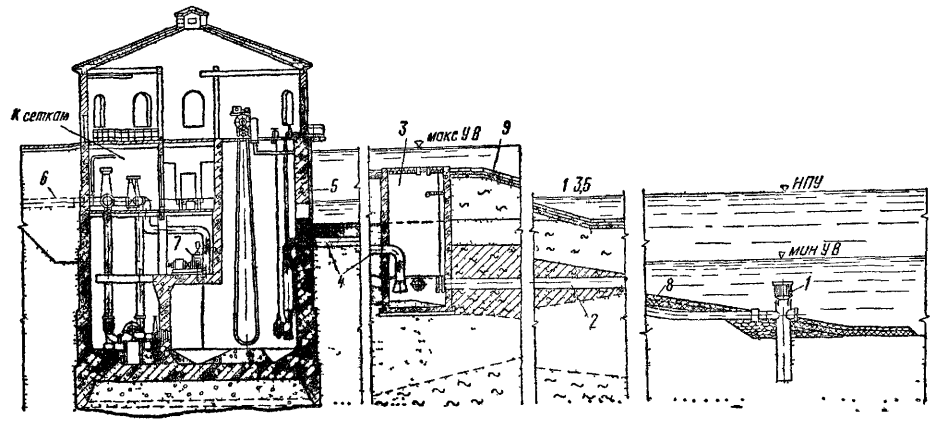


Рис IV 32

Однако чаще прием воды из водохранилища осуществляется отдельно стоящими водоприемными сооружениями.

Указанные выше особенности приема воды из водохранилищ и качества этой воды в определенной мере влияют на выбор типа водохранилищных водоприемников.

Интенсивная переработка берегов, обусловливающая образование широкой береговой зоны отложения наносов и зоны замутненной воды, часто приводит к необходимости вынесения места забора воды в водохранилище на значительное расстояние от берега (т. е. применение сооружений руслового типа).

Весьма значительные колебания уровней воды в водохранилище при его сработке для ГЭС делают рациональным применение комбинированных водоприемников, где вода может забираться и через самотечные трубы и через входные окна в передней стенке берегового колодца.

На рис. IV.32 приведен пример водоприемника комбинированного типа, построенного на Куйбышевском водохранилище в условиях весьма больших (более 12 м) колебаний уровня воды. Основное сооружение, выполненное в виде железобетонной шахты, представляет собой береговой колодец, совмещенный с насосной станцией. При нормальном подпорном уровне (НПУ) и более высоких уровнях вода может поступать в береговой колодец через входные окна в его передней стенке. При низких уровнях прием воды осуществляется через специальный оголовок *1*, вынесенный в бывшее (до затопления) русло реки и соединенный с береговым колодцем самотечными трубами *2* (от оголовка до промежуточного колодца *3*) и сифонными трубами *4* (от промежуточного колодца *3* до берегового колодца *5*). Длина самотечных труб 80 м, длина сифонных труб около 1000 м.

Трубы *4* работают как сифонные лишь при уровнях воды, близких к наинизшему уровню (при максимальной сработке водохранилища); при более высоких уровнях они превращаются в обычные самотечные линии.

Насосная станция оборудована центробежными насосами, подающими воду в напорные водоводы *6*, а также вакуум-насосом *7* для зарядки сифонов.

В пределах изменений уровня воды берега и дно реки у оголовка укреплены хворостяным тюфяком с пригрузкой камнем *8* или бетонными плитами *9*.

Устройство оголовка *1* (см. рис. IV.32) показано на рис. IV.33. Оголовок выполнен из вертикально расположенной стальной трубы *1*, заглубленной на 5 м в грунт. К этой трубе присоединяются самотечная труба *2* и отросток *3*, служащий для обратной промывки самотечной линии. Отросток закрывается крышкой с клиновым запором и цепью *4*. Вода поступает в оголовок через верхний конец стояка, оборудованный решеткой *5* по периметру и по торцу.

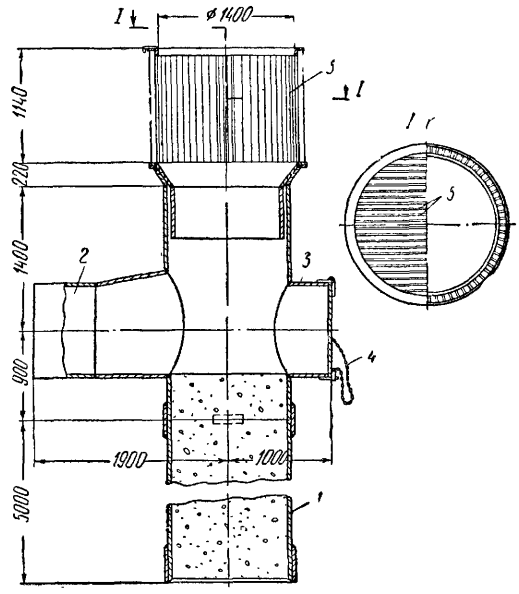


Рис. IV.33

На водохранилищах находят применение водоприемники с аванкамерой открытого типа. На рис. IV.34 показан пример устройства такого водоприемника для крупного промышленного предприятия. Учитывая вероятный характер переработки берега, водоприемник (совмещенный с насосной станцией) отнесен на 600 м в глубь берега; вода от водохранилища подводится к нему по каналу: ширина по дну 3 м, коэффициент откосов $m=2$ и глубина воды 4 м (при нормальном подпорном уровне). Открытая аванкамера водоприемника оборудована наклонной сороудерживающей решеткой *1* и пазами для щитовых затворов *2*. Из аванкамеры вода проходит под забральной стенкой и поступает во всасывающее отделение. Насосная станция оборудована четырьмя вертикальными пропеллерными насосами *3*. Электродвигатели *4* установлены в наземном павильоне.

По напорным водоводам диаметром 1200 мм вода подается через камеру *5* в самотечный открытый канал, подводящий ее к потребителям. Отделение головной камеры *5* канала оборудовано щитовыми затворами *6*, а концы водоводов снабжены обратными клапанами *7*.

Кроме указанных типов водоприемных сооружений для забора воды из водохранилищ используют водоприемники островного типа, инфильтрационные, плавучие и др.

Условия приема воды из озер во многом подобны имеющимся на водохранилищах. Так, в крупных озерах необходимо учитывать наличие волнения, взмучивания наносов в прибрежной зоне, воздействия волн на водоприемные сооружения, сгонов и нагонов воды. Как и в

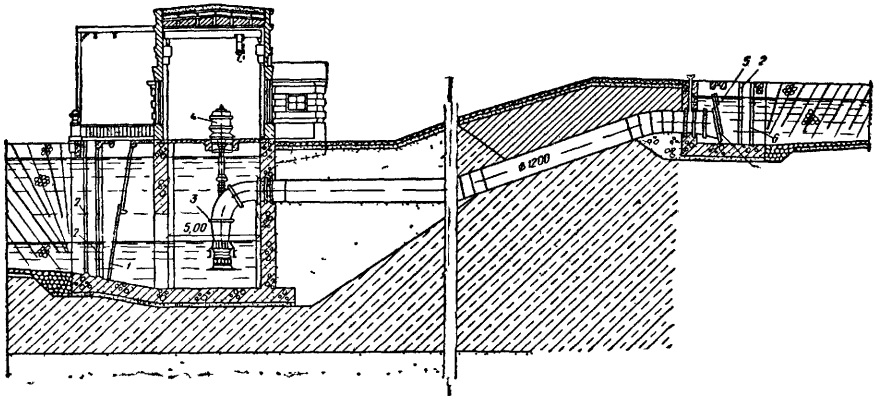


Рис. IV.34

водохранилищах, в озерах необходимо учитывать специфические условия загрязнения их воды сточными водами.

Берега естественных озер в отличие от берегов водохранилищ обладают стабильностью, а уровень воды в них не подвержен сколько-нибудь значительным колебаниям.

Пресные озера широко используются как источники питьевого водоснабжения. Вне береговой зоны и на достаточно больших глубинах качество озерной воды с санитарной точки зрения часто оказывается весьма высоким.

На озерах находят применение водоприемные оголовки различных типов; иногда их выносят далеко в озеро для обеспечения приема воды возможно более высокого качества.

На крупных озерах находят применение также незатопляемые водоприемные оголовки (островного типа), иногда вынесенные в озеро на весьма большое расстояние от берега и соединенные с берегом водоводами, уложенными по дну озера. Конструкция таких оголовков должна быть рассчитана на сопротивление воздействию волн и льда.

§ 65. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ МОРЕЙ И УСТРОЙСТВА МОРСКИХ ВОДОПРИЕМНИКОВ

Морская вода используется в основном для приморских теплосиловых электростанций, а также для производственных нужд некоторых видов промышленных предприятий (преимущественно для целей охлаждения).

При выборе способа забора воды из моря, а также типа и конструкции морских водоприемных сооружений необходимо учитывать следующие специфические условия и характеристики морского побережья:

а) колебания уровня воды, обусловленные приливами и отливами, волнением, нагоном, а также морские течения;

б) значительную силу удара волн;

в) геологическое строение морского побережья, взмучивание наносов в прибрежной зоне, образование отмелей, подмыв берега, оползневые явления;

г) наличие в морской воде водорослей, моллюсков и микрофлоры;
д) коррозионные свойства морской воды;
е) характер ледовых явлений в районе водоприема.

Прием воды из моря для целей водоснабжения возможен из искусственно защищенных акваторий портов, из естественно защищенных бухт или на открытых побережьях.

Только тщательное изучение всех названных условий позволяет правильно выбрать тип водоприемного сооружения, обеспечивающий его бесперебойную работу.

Наибольшие удобства для расположения морских водоприемников предоставляет акватория порта, хорошо защищенная от воздействия больших волн, с надежно укрепленной береговой линией, защищенная от обмеления и находящаяся в значительно более благоприятных ледовых условиях, чем открытые побережья.

Для сооружений, принимающих морскую воду, характерно так называемое биообрастание поверхностей, соприкасающихся с водой, т. е. образование на них биологической пленки (состоящей из органических илистых частиц и бактерий). На этой пленке поселяются различные водоросли и морские животные, в частности моллюски. Биообрастанию подвергаются решетки и сетки водоприемника, затворные устройства, арматура, внутренние поверхности водоводов, охладительная аппаратура, теплообменные аппараты и т. п. Особенно интенсивно идет процесс биообрастания в теплых морях (в Черном море, например, интенсивность биообрастания достигает 5—6 кг/м^2 в месяц; в тропиках она еще больше). Кроме того, решетки и сетки морских водоприемников могут засоряться в результате интенсивного (сезонного) развития планктона, т. е. цветения воды, а также в результате нагона к водоприемнику крупной морской растительности. Указанные обстоятельства должны быть учтены как в конструкции сорозадерживающих приспособлений водоприемника, так и в методах их эксплуатации.

Степень агрессивности морской воды (зависящая от содержания в ней различных солей) должна быть учтена при выборе материала, применяемого для строительства водоприемных сооружений (например, сорт цемента для бетонных конструкций), а также при устройстве на них специальных изоляционных защитных покрытий.

На рис. IV.35 показано устройство водоприемного сооружения, расположенного на территории порта. Передняя стенка берегового колодца *1* находится в одной плоскости со стенкой набережной для причала судов Перекрытие его расположено на одном уровне с поверхностью набережной, чтобы не мешать погрузочно-разгрузочным операциям. Вода поступает в береговой колодец через входные окна *2* в его передней стенке, перекрытые грубой решеткой с прозорами в 0,1 м.

По условиям работы порта здание грубой механической очистки и насосная станция удалены от моря на 80 м. Из берегового колодца вода направляется по самотечной двухсекционной железобетонной галерее *3*, имеющей смотровые колодцы *4*, в здание механической очистки. Здесь вода проходит последовательно через наклонные решетки *5* (оборудованные механическими щетками для их очистки) и вращающиеся сетки *6*. Из всасывающего отделения *7* вода забирается трубами насосов *8* и по напорным водоводам подается к теплосиловой электрической станции.

Как видно, здесь предусмотрены усиленные устройства для механической очистки воды. Кроме того, наличие двух секций в проходной

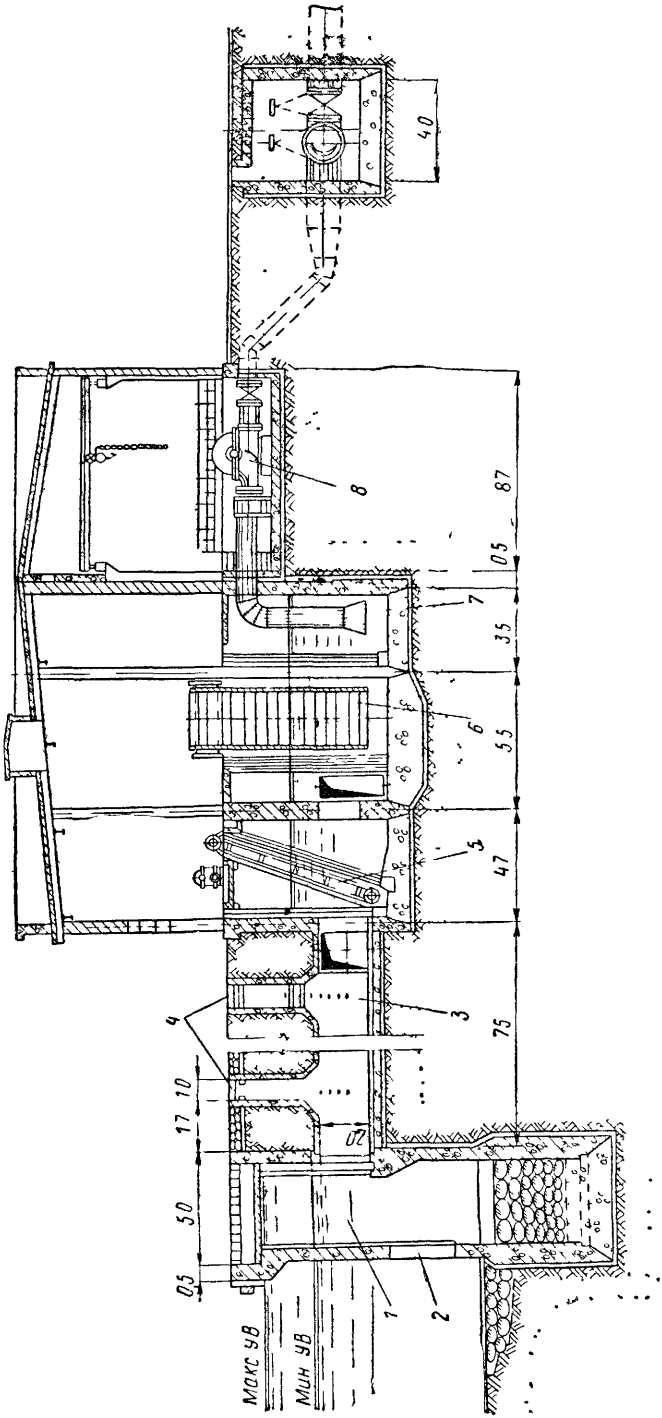


Рис IV 35

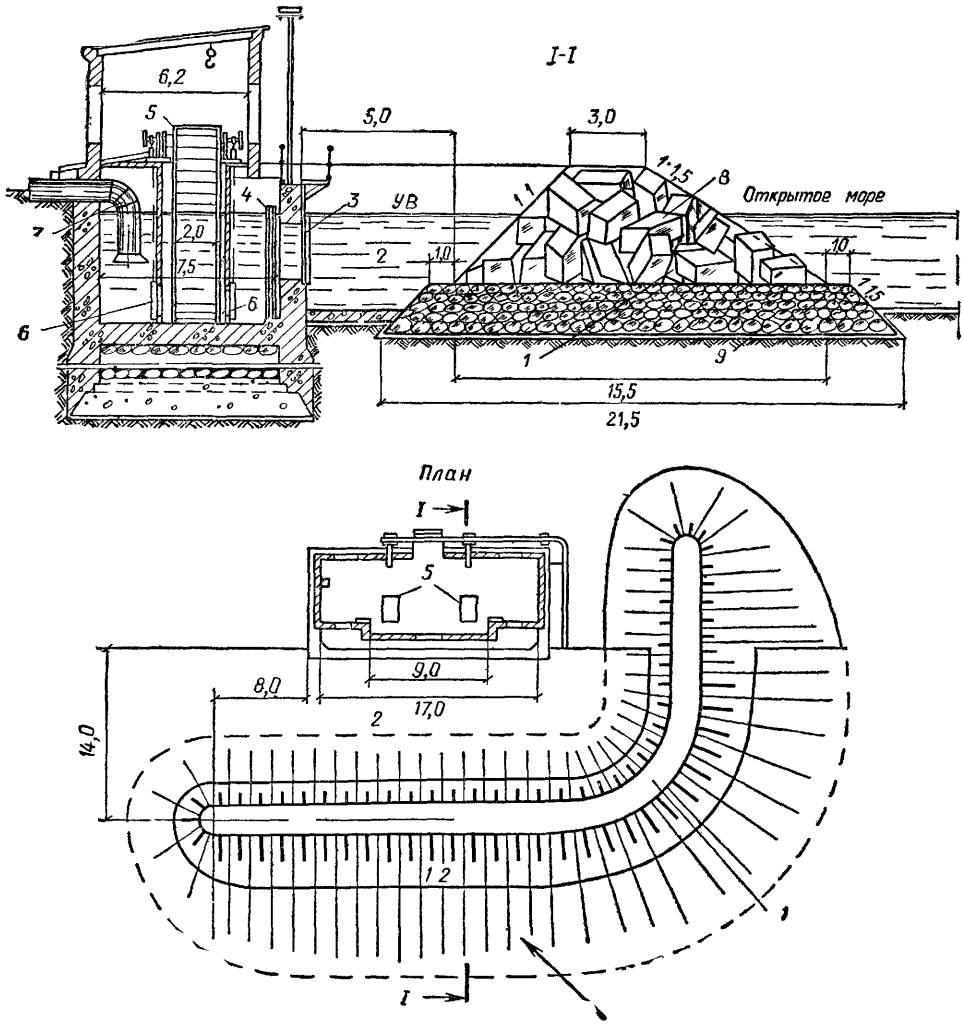


Рис IV 36

галерее позволяет периодически очищать ее от осадка и обрастания.

Конструкция водоприемников, располагаемых на открытых морских побережьях, должна быть рассчитана на сопротивление значительным нагрузкам от ударов волн и льда. В этих условиях находят применение водоприемные сооружения берегового типа с защитными дамбами, сооружения с затопленными приемными оголовками и сооружения с незатопленными оголовками островного типа.

На рис. IV.36 показан морской береговой водоприемник с защитной дамбой. Дамба *1* образует перед фронтом водоприемника своеобразный ковш — отстойник *2*. Дамба принимает на себя всю силу ударов волн. Входные окна водоприемника снабжены грубыми решетками *3* и двойными съемными плоскими сетками *4* Далее вода проходит через вращающиеся сетки *5*. Плоские сетки предназначены для работы при аварийной остановке вращающихся сеток. Через отверстия, за-

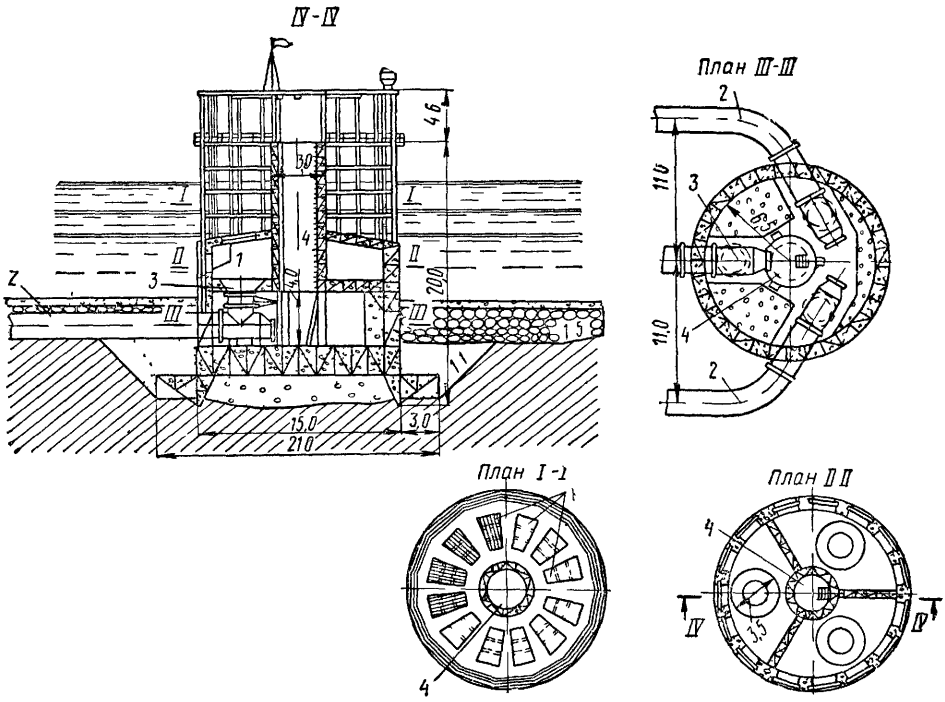


Рис. IV.37

крываемые дроссельными затворами *6*, вода поступает во всасывающее отделение, откуда забирается всасывающими трубами насосов *7*. Дамба сооружена из бетонных массивов *8*, лежащих на слое каменной наброски *9*.

На рис. IV.37 схематически показано устройство незатопляемого (островного) приемного оголовка для крупного производственного водопровода. Оголовок по условиям качества воды и движения наносов вдоль берега вынесен в море на расстояние около 1 км от берега. Стенки подводной части оголовка образованы двумя концентрически расположенными стальными цилиндрами с заполнением промежутка между ними шириной 1 м бетоном. Вода поступает внутрь оголовка через входные окна *1*, расположенные в коническом перекрытии подводной части и в ее цилиндрической стенке.

Оголовок разделен на три секции, из которых вода отводится по трем отдельным самотечным трубам *2* диаметром 2 м через приемные раструбы *3*, снабженные затворами.

В центре водоприемника располагается цилиндрическая железобетонная шахта *4* внутренним диаметром 3 м, предназначенная для спуска в подводную часть. Надводная часть оголовка представляет собой решетчатую конструкцию вокруг центральной шахты, поддерживающую перекрытие для оборудования.

Самотечные трубы подводят воду к береговой водоприемной камере с расположенными в ней вращающимися сетками. Из этой камеры вода поступает по каналу к насосам. Приемная камера и насосная станция расположены на берегу на расстоянии 130 м от уреза воды.

Очистка самотечных труб от заиления и биообрастания производится механическим способом при выключении отдельных линий.

На рис. IV.38 показана схема водоприемных сооружений, предусматривающая подвод воды к водоприемнику *1* открытым каналом *2*, вход в который защищен дамбой-волноломом *3*. Такой метод приема воды позволяет предотвратить значительные волнения у водоприемника и интенсивное занесение в него наносов.

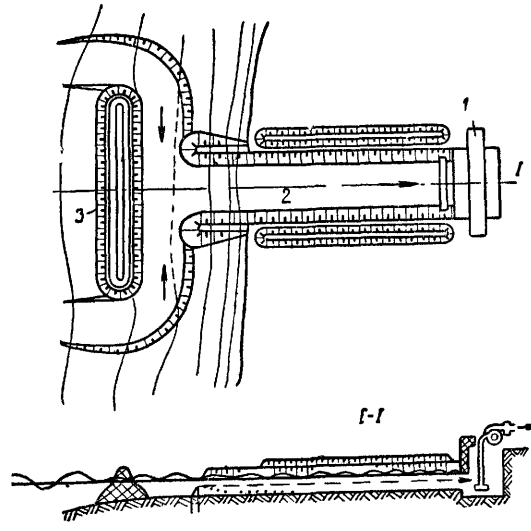


Рис IV.38

В целях борьбы с биообрастанием трубопроводов, оборудования и арматуры при использовании морской воды применяют ее постоянное хлорирование дозами 1,5—5 мг/л, периодическую промывку труб горячей сбросной производственной водой или обработку воды медным купоросом (дозами 6,5—7 мг/л в течение 1 ч 1 раз за 2 суток).

Глава 14

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИЕМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 66. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ПРИЕМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Подземные воды залегают на различных глубинах и в различных породах. Обладая высокими санитарными качествами, эти воды особенно ценны для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных мест. Наибольший интерес для водоснабжения представляют воды напорных водоносных пластов, перекрытых сверху водонепроницаемыми породами, предохраняющими подземные воды от поступления в них каких-либо загрязнений с поверхности земли. Однако для целей водоснабжения нередко используются также безнапорные подземные воды со свободной поверхностью, содержащиеся в пластах, не имеющих водонепроницаемой кровли. Кроме того, для целей водоснабжения используются родниковые (ключевые) воды, т. е. подземные воды, самостоятельно выходящие на поверхность земли. Наконец, в отдельных случаях для производственного водоснабжения используются так называемые шахтные и рудничные воды, т. е. подземные воды, поступающие в водоотливные и водопонизительные сооружения при добыче полезных ископаемых.

Для приема подземных вод применяются сооружения следующих типов:

1) трубчатые буровые колодцы (скважины);
2) шахтные колодцы;
3) горизонтальные водосборы;
4) лучевые водосборы;
5) сооружения для каптажа родниковых вод.

§ 67. КОНСТРУКЦИИ И УСТРОЙСТВО ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ

Трубчатые буровые колодцы устраивают путем бурения в земле вертикальных цилиндрических каналов — скважин. В большинстве пород стенки скважин приходится укреплять обсадными (чаще всего стальными) трубами, образующими трубчатый колодец. В пределах водоносного пласта для возможности приема воды из грунта колодец оборудуют специальными фильтрами.

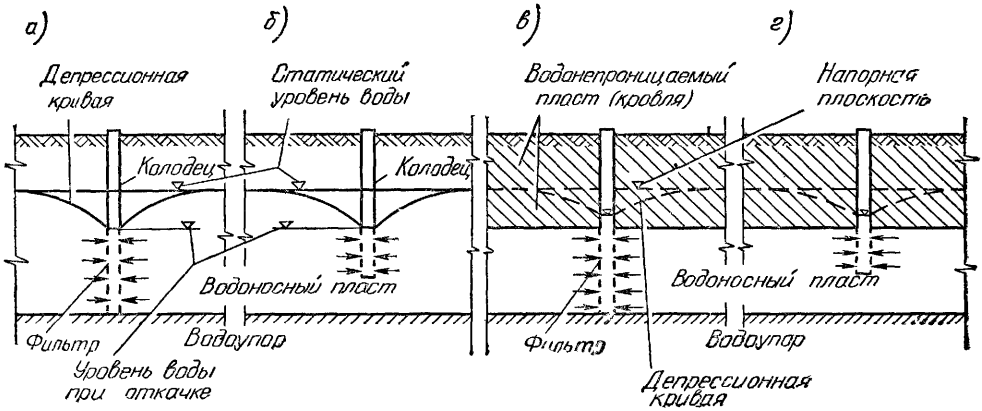


Рис. IV.39

Трубчатые колодцы применяют обычно при сравнительно глубоком залегании водоносных пластов и значительной мощности этих пластов. В связи с этим их характерной особенностью является относительно малый диаметр (облегчающий прохождение большой толщи пород) и относительно большая длина водосборной части.

Трубчатые колодцы могут использоваться для приема как безнапорных (рис. IV.39, *а* и *б*), так и напорных (рис. IV.39, *в* и *г*) подземных вод. И в том и в другом случае они могут быть доведены до подстилающего водоупорного пласта — «совершенные колодцы» (рис. IV.39, *а* и *в*) или заканчиваться в толще водоносного пласта — «несовершенные колодцы» (рис. IV.39, *б* и *г*).

Обычно для централизованных систем водоснабжения устраивают несколько трубчатых колодцев, объединенных в группу водосборных сооружений. Состав и схема этих сооружений зависят в основном от метода извлечения воды из колодцев, который в свою очередь зависит от глубины расположения уровня воды по отношению к поверхности земли.

Конструкция трубчатого колодца зависит от глубины залегания подземных вод, характера проходимых горных пород и способа бурения. В свою очередь способ бурения принимается в зависимости от требуемой глубины колодца [1].

На рис. IV.40 показана схема устройства простейшего бурового колодца. Стенки вертикального цилиндрического канала (скважины), получаемого в результате бурения, закрепляют опускаемой в него стальной обсадной трубой *1*. Эту трубу опускают приблизительно до верхней границы залегания водоносных пород. В большинстве случа-

[1] Способы бурения скважин излагаются в курсе технологии и организации строительных работ.

ев эти породы представляют собой насыщенные водой пески, песчано-гравелистые или скальные трещиноватые породы.

В обсадную трубу *1* опускают трубу *2* меньшего диаметра, которую доводят обычно до нижней границы залегания водоносных пород, несколько заглубляя в подстилающие водонепроницаемые породы (рис. IV.40, *а*). Затем в трубу *2* опускают фильтр (рис. IV.40, *б*) (представляющий собой обычно трубу с перфорированной — дырчатой или щелевой — частью *3*), предназначенный для защиты колодца от зане-

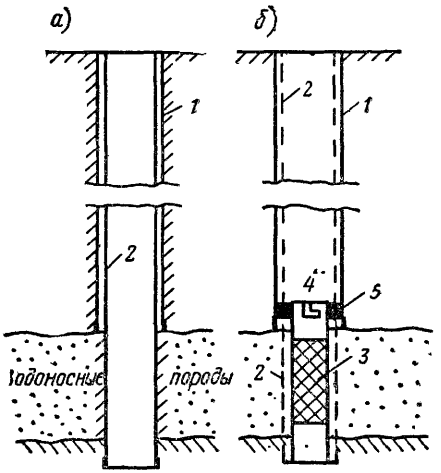


Рис. IV.40

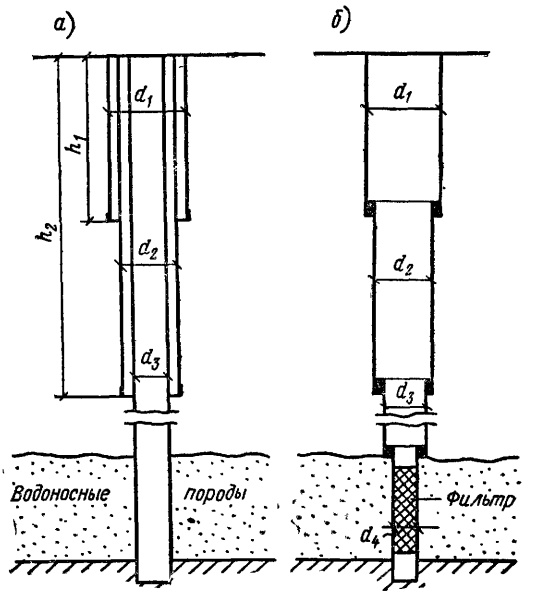


Рис. IV.41

сения в него вместе с водой частиц грунта из водоносного слоя. Конструкции фильтров описаны в § 68. Фильтр, диаметр которого должен быть меньше внутреннего диаметра трубы *2*, опускается в нее при помощи штанг и специальных замков *4* в его верхней части. После установки фильтра трубу *2* удаляют из скважины, а кольцевое пространство между стенками фильтровой трубы и обсадной трубы *1* уплотняют путем устройства сальника *5*. После изъятия из скважины трубы *2* колодец принимает вид, показанный на рис. IV.40, *б*.

В буровом колодце обычно различают водоприемную часть (фильтр), ствол, т. е. глухую часть скважины, по которой поднимается вода, и устье, т. е. соответствующим образом оборудованную выходную часть; устье обычно располагается в специальном павильоне.

При залегании водоносных пород на большой глубине достигнуть их одной обсадной трубой не удается ввиду значительного возрастания сопротивления грунта погружению обсадных труб. В этих условиях используют несколько обсадных труб постепенно уменьшающегося диаметра (рис. IV.41, *а*). После того как трубой диаметром d_1 достигнута наибольшая возможная глубина h_1, в нее опускают трубу ближайшего меньшего диаметра d_2, погружаемую на глубину h_2 от поверхности земли, но испытывающую сопротивление грунта лишь на высоте $h_2 — h_1$. Если требуемая глубина не достигнута второй трубой,

в нее вводят третью трубу еще меньшего диаметра d_3 и т. д. Наконец, в нижней части последней трубы устанавливают фильтр, а трубу подтягивают на высоту, соответствующую высоте фильтра. Все обсадные трубы, кроме наружной, обрезают на требуемом уровне специальным труборезом изнутри, и кольцевое пространство между концами смежных труб тампонируют (обычно цементным раствором). В результате буровой колодец получает телескопический вид (рис. IV.41, *б*).

«Выход» (т. е. высота h_2—h_1 и т. д.) одной обсадной трубы различен для разных способов бурения: при ручном ударном вращательном бурении он достигает 20—25 м, при механическом ударном бурении — 30—50 м, при роторном бурении — 400—500 м.

Верхняя колонна труб (наибольшего диаметра) телескопического колодца обычно опускается на относительно небольшую глубину (7—12 м) и служит своего рода направляющей для обеспечения правильного вертикального положения колодца.

В некоторых случаях в целях защиты колодца от проникновения в него загрязненных почвенных вод (в результате коррозии внешней трубы) вторую обсадную трубу не обрезают, заполняя пространство между первой и второй трубой цементным раствором на всю высоту.

Трубчатый колодец должен быть выполнен строго вертикальным и прямым, особенно при использовании для подъема воды артезианских насосов с длинным валом.

Оборудование устья (оголовков буровых колодцев) описано в § 71.

§ 68. ФИЛЬТРЫ ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ

Фильтр является ответственной частью бурового колодца: от того, насколько правильно и надежно устроен фильтр, в высокой степени зависит качество работы всего колодца.

Фильтры (рис. IV.42) состоят из рабочей части *1* (через которую в колодец поступает вода), верхней надфильтровой глухой части *2* с замком *3* для возможности опускания и установки фильтра и нижней также глухой части *4*, которая служит сборником для проникающих в колодец мелких частиц грунта.

Высоту рабочей части фильтра принимают в соответствии с мощностью используемого водоносного слоя в результате расчета на пропуск требуемого количества воды. Высота отстойной части изменяется в пределах от 1,5 м (при глубине колодца до 15 м) до 10 м (при глубине колодца более 90 м). Высота надфильтровой части зависит от типа и конструкции фильтра и должна обеспечивать расположение в ее пределах сальника *5* и замка *3*. Кроме того, высота надфильтрового участка должна быть достаточной для того, чтобы его верх находился выше башмака обсадной трубы не менее чем на 3 м при глубине скважины до 30 м и не менее чем на 5 м при большей глубине.

В конструкции фильтра бурового колодца выделяются два элемента: опорный каркас и водоприемная поверхность. Опорный каркас устраивается из труб с круглой или щелевой перфорацией (трубчатые каркасы — рис. IV.43) или из отдельных стержней, между которыми оставляются продольные отверстия — щели (стержневые каркасы или, как их называют, каркасно-стержневые фильтры — рис. IV.44).

В скальных и полускальных трещиноватых породах, а также в крупноскелетных щебенистых и галечниковых водоносных грунтах нередко ограничиваются установкой трубчатого или стержневого каркасов без дополнительных устройств; в этом случае указанные каркасы служат одновременно и водоприемными поверхностями.

В гравийно-песчаных и песчаных грунтах на каркасы наматывается проволока (проволочные фильтры) или накладывается сетка (сетчатые фильтры) или же накладываются стальные штампованные листы с отверстиями различной конфигурации.

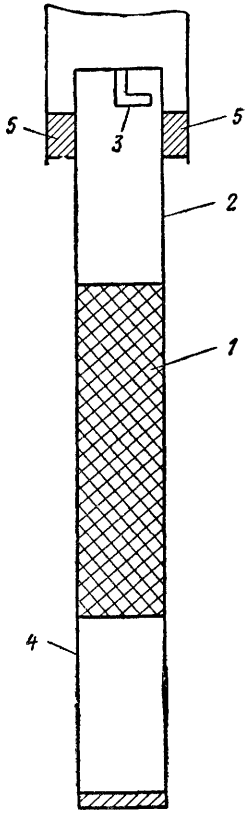


Рис. IV.42

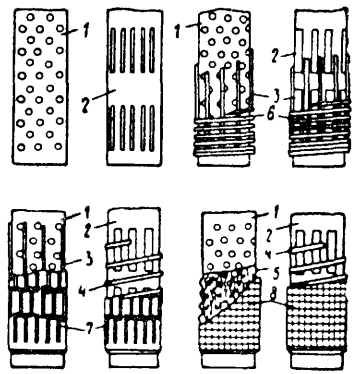


Рис. IV.43

1 — трубчатый каркас с круглой перфорацией; *2* — трубчатый каркас с щелевой перфорацией; *3*—подкладочные продольные стержни; *4* — подкладочная спиральная намотка; *5* — подкладочная гофрированная пленка из винипласта; *6* — водоприемная поверхность из проволочной обмотки; *7* — водоприемная поверхность из стального штампованного листа с отверстиями различной конфигурации; *8* — водоприемная поверхность из сетки

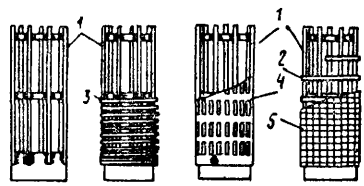


Рис. IV.44

1 — стержневой каркас (на опорных кольцах или закладных планках); *2* — подкладочная спиральная намотка; *3* — водоприемная поверхность из проволочной обмотки, *4* — водоприемная поверхность из стального штампованного листа с отверстиями различной конфигурации; *5* — водоприемная поверхность из сетки

В среднезернистых и мелкозернистых грунтах вокруг водоприемных поверхностей указанных типов устраивают гравийные обсыпки (гравийные фильтры). При этом различают гравийные засыпные фильтры, когда засыпка гравия производится в скважину после установки фильтра; гравийные кожуховые фильтры, когда гравийная обсыпка устраивается в кожухах из сеток или штампованной кровельной стали еще на поверхности, а затем вместе с фильтром опускается в скважину, и, наконец, гравийные блочные фильтры, когда материал обсыпки связывается цементирующим веществом и формируется в блоки, надеваемые на фильтровые каркасы до установки их в скважину. Гравийные обсыпки устраивают одно-, двух- и трехслойными.

При устройстве проволочных фильтров на трубчатых каркасах с круглыми или щелевыми отверстиями к каркасам через 3—4 см по их периметру привариваются продольные стержни из проволоки диамет-

ром до 2,5 мм, на которые уже наматывается проволока. На стержневые каркасы проволока наматывается непосредственно.

В сетчатых фильтрах на трубчатые и стержневые каркасы спирально (с расстоянием между витками 5—10 мм) наматывается проволока, на которую накладывается сетка.

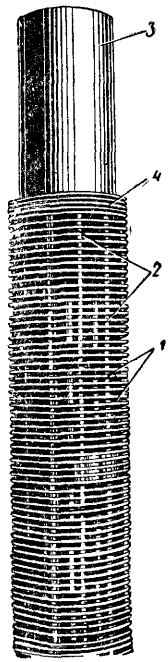


Рис. IV.45

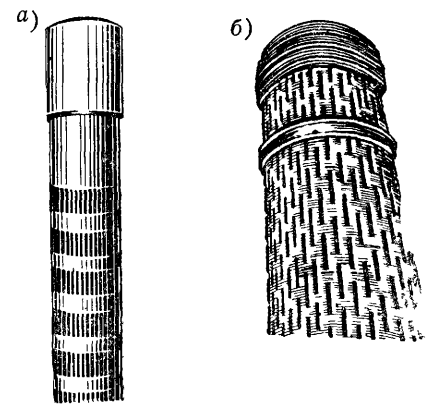


Рис. IV 46

Таблица IV.1

Фильтр	Рекомендуемый размер отверстий фильтра при коэффициенте неоднородности грунта $K_п$	
	>2	≤2
Дырчатый	(3—4)d_{50}	(2,5—3) d_{50}
Щелевой, проволочный, сетчатый	(2—2,5) d_{50}	(1,5—2) d_{50}

Сетки изготовляются из латунной проволоки и имеют различное плетение.

К недостаткам сетчатых фильтров относятся возможность закупорки отверстий сетки мелким песком и зарастание отверстий фильтра в результате процесса электрокоррозии, обусловливаемой совместным применением двух металлов (сталь и латунь).

В последние годы вместо латунных сеток начинают использовать пластмассовые сетки и сетки из нержавеющей стали.

Фильтры на стержневых каркасах обладают лучшими гидравлическими свойствами и обеспечивают более длительную эксплуатацию колодца.

На рис. IV.45 показан каркасно-стержневой фильтр с проволочной обмоткой *1*. Каркас выполнен из стержней *2*, расположенных на расстоянии 3—4 см один от другого и приваренных к соединительным концевым патрубкам *3* (длиной около 30 см). Для придания фильтру жесткости стержни раскреплены опорными кольцами *4*, расположенными через 20—30 см.

Значительное распространение в нашей и зарубежной практике получили фильтры из различных антикоррозийных материалов, в частности из пластмасс (рис. IV,46, *а*) и асбестоцемента (рис. IV.46, *б*).

Пластмассовые фильтры обладают следующими достоинствами: устойчивостью против коррозийного действия вод, легкостью, долговеч-

ностью, сравнительно невысокой потерей первоначальной пропускной способности в процессе эксплуатации.

Наименьший размер водоприемных отверстий фильтров без гравийных обсыпок зависит от однородности и крупности зерен песка водоносного пласта и может приниматься в соответствии с табл. IV.1.

В табл. IV.1 $K_п = d_{60}/d_{10}$; меньшие значения относятся к более мелким пескам, а бо́льшие — к более крупным пескам;

d_{10}, d_{50} и d_{60} — размер частиц грунта, мельче которых в водоносном пласте содержится по массе соответственно 10, 50 и 60%.

Отверстия в фильтре не обязательно должны быть меньше частиц грунта водоносного пласта. После начала откачки воды около отверстий фильтра в примыкающем к нему слое песка образуются сводики из частиц грунта, препятствующие проникновению песка в колодец.

В гравийных фильтрах в качестве обсыпки могут применяться песок, гравий и песчано-гравийные смеси. Подбор материалов для гравийных обсыпок производится по соотношению $D_{50}/d_{50} = 8—12$, где D_{50} и d_{50} — размеры частиц, мельче которых в обсыпке и в водоносном грунте соответственно содержится по массе 50%.

Толщина слоев обсыпки в гравийных засыпных фильтрах обычно принимается не менее 50 мм, а в гравийных кожуховых и блочных — не менее 30 мм.

В заключение в табл. IV.2 приводятся указания относительно возможной области применения различных типов и конструкций фильтров буровых колодцев.

Таблица IV2

Водоносные породы	Применяемые типы и конструкции фильтров
Полускальные неустойчивые породы, щебенистые и галечниковые породы с преобладающей крупностью частиц от 20 до 100 мм (более 50% по массе)	Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией, каркасно-стержневые фильтры
Гравий, гравелистый песок с крупностью частиц от 1 до 10 мм с преобладающей крупностью частиц от 2 до 5 мм (более 50% по массе)	Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки или из стального штампованного листа, каркасно-стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки или из стального штампованного листа
Пески крупные с преобладающей крупностью частиц от 1 до 2 мм (более 50% по массе)	Трубчатые фильтры с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, из стального штампованного листа или из сетки квадратного плетения, каркасно-стержчевые фильтры с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, из стального штампованного листа или из сетки квадратного плетения
Пески средние с преобладающей крупностью частиц от 0,25 до 0,5 мм (более 50% по массе)	Трубчатые и каркасно-стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из сеток гладкого (галунного) плетения, трубчатые и каркасно-стержневые фильтры с однослойной гравийной обсыпкой (гравийные фильтры)
Пески мелкие с преобладающей крупностью частиц от 0,1 до 0,25 мм (более 50% по массе)	Трубчатые и каркасно-стержневые фильтры с одно-, двух- или трехслойной песчаной или песчано-гравийной обсыпкой (гравийные фильтры); гравийные блочные фильтры

§ 69. РАСЧЕТ ОДИНОЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ (СКВАЖИН)

При расчете трубчатых колодцев в большинстве случаев заданным является требуемое количество забираемой воды. Иногда на основании расчета устанавливается максимально возможный расход (дебит) колодца.

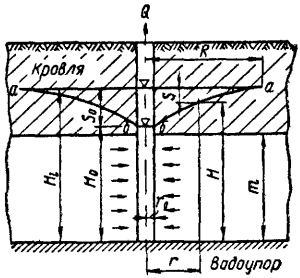


Рис. IV.47

До проведения расчета в результате изысканий должны быть установлены: глубина залегания и мощность водоносного пласта, его водопроницаемость, водоотдача, характеристика грунтов, слагающих водоносный пласт, и другие особенности природной обстановки (например, влияние реки на подземные воды).

При расчетах определяют величину понижения уровня при заданном отборе воды и намечаемом числе скважин (и их размерах — диаметре, глубине), а также расстояниях между ними или возможный отбор воды при заданном (допустимом) понижении уровня и всех прочих параметрах.

Расчет буровых трубчатых колодцев основывается на законах фильтрации, излагаемых в курсе гидравлики.

Далее описывается методика расчета одиночных трубчатых колодцев при следующих основных схемах:

а) приток напорных вод к одиночному совершенному колодцу;

б) то же, к несовершенному колодцу;

в) приток безнапорных вод к одиночному совершенному колодцу;

г) то же, к несовершенному колодцу.

Совершенный колодец в напорных водоносных пластах (рис. IV.47). До начала откачки уровень воды в колодце находится на высоте H_l. При откачке уровень воды в колодце понижается, и вода из водоносного пласта начинает притекать к колодцу. Напорная плоскость приобретает форму депрессионной воронки; сечение этой воронки вертикальной плоскостью, проходящей через ось колодца, дает линию депрессии *абба*. Когда количество отбираемой воды станет равным количеству воды, притекающей в колодец из грунта, движение приобретает установившийся характер и в колодце устанавливается некоторый «динамический» уровень на высоте H_0. Величина $H_l - H_0 = S_0$ называется понижением уровня в колодце. Понижение на любом расстоянии r от оси колодца равно $S = H_l - H$.

Малые значения S_0 свидетельствуют о недостаточном использовании водоносного пласта. Большие значения S_0 ведут к увеличению высоты подъема воды и, следовательно, к удорожанию эксплуатации установки. Кроме того, большое значение S_0, при котором H_0 становится меньше m (где m — мощность водоносного пласта), ведет к уменьшению рабочей длины фильтра.

В пластах с малой мощностью может оказаться, что при заданном Q динамический уровень вообще не установится, т. е. величина S_0 при откачке будет стремиться к величине H_l. Это означает, что из таких пластов заданное количество воды одним колодцем вообще не может быть получено.

Гидравлический расчет трубчатого колодца заключается в установлении соотношений между расходом (дебитом) Q, понижением S и радиусом колодца r_0 при известных значениях коэффициента фильтрации k, мощности m и других параметров водоносного пласта.

В условиях установившегося движения дебит совершенного колодца в напорном водоносном пласте определяется по формуле Дюпюи:

$$Q = \frac{2\pi kmS}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{2{,}73kmS}{\lg \frac{R}{r}}. \qquad \text{(IV.1)}$$

При выводе этой формулы принято допущение, что область питания колодца в пласте ограничивается некоторым цилиндром с радиусом R. Величина R носит название «радиуса влияния», или «радиуса действия» колодца. Предполагается, что на расстоянии R от колодца понижение уровня S равно нулю, т. е. что здесь кривая депрессии как бы сопрягается с первоначальным (не затронутым откачкой) положением напорной плоскости.

По приведенной формуле может быть определен дебит Q при заранее заданном понижении уровня воды S в точке с координатой r (т. е. на расстоянии r от оси колодца). Решая эту формулу относительно S, можно определить понижение уровня при заданном дебите Q:

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R}{r} = 0{,}37 \frac{Q}{km} \lg \frac{R}{r}. \qquad \text{(IV.2)}$$

При $r = r_0$ (r_0 — радиус колодца) получим максимальную величину понижения уровня в самом колодце: $S = S_0$.

Величины k, m и R в обеих формулах определяются по данным гидрогеологических изысканий, которые производятся для обоснования проекта водосборных сооружений.

Наиболее сложно определение радиуса влияния R. Его ориентировочные значения приведены в табл. IV.3. Ими пользуются для предварительных расчетов Q и S при откачке из одиночных скважин.

Таблица IV.3

Порода	Преобладающая крупность частиц в мм	Радиус влияния R в м
Песок:		
мелкий	0,1—0,25	50—100
средней крупности	0,25—0,5	100—300
крупный	0,5—1	300—400
гравелистый	1—2	400—500
Гравий:		
мелкий	2—3	400—600
средний	3—5	600—1500
крупный	5—10	1500—3000

Следует сказать, что само понятие радиуса влияния несколько условно. Величина радиуса влияния зависит не только от фильтрационных свойств и мощности водоносного пласта, но в значительной степени и от условий его питания. При недостаточном питании величина R постепенно увеличивается. В этом случае мы вообще не получаем стабильного дебита Q (при заданном S) или постоянной величины S (при заданном Q) — они будут изменяться во времени. Движение подземных вод к колодцу при этом является неустановившимся.

Для гидравлического расчета скважины можно принять:

$$R \approx 1{,}5\sqrt{at}, \qquad \text{(IV.3)}$$

где t — время откачки.

Входящая в формулу величина a носит название коэффициента пьезопроводности; он характеризует скорость перераспределения напора подземных вод при неустановившемся движении:

$$a = \frac{km}{\mu^*}, \qquad \text{(IV.4)}$$

где μ^* — коэффициент водоотдачи напорного пласта.

Коэффициент пьезопроводности a для напорных слабоминерализованных вод, заключенных в хорошо водопроницаемых плотных (скальных и полускальных) породах, обычно составляет 10^4—10^6 м²/сутки. В слабоводопроницаемых мелкозернистых (рыхлых) породах он может колебаться в значительных пределах: от 10^3 до 10^5 м²/сутки. Наиболее надежно

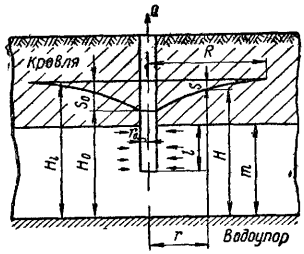


Рис. IV.48

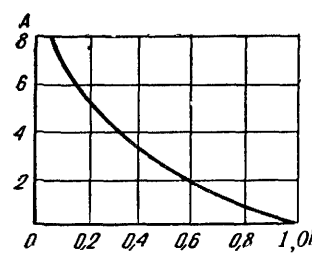


Рис. IV.49

коэффициент пьезопроводности определяется по данным опытных откачек и эксплуатации колодцев.

Несовершенный колодец в напорных водоносных пластах (рис. IV.48). При откачке воды из несовершенного колодца ее частицам приходится преодолевать более значительное сопротивление, чем в совершенном колодце. Поэтому если для получения расхода Q из совершенного колодца необходимо снизить уровень воды в колодце на величину $S_{сов}$, то для получения этого же расхода из несовершенного колодца понижение уровня должно быть равно:

$$S = S_{сов} + \Delta S, \tag{IV.5}$$

где ΔS — дополнительное понижение уровня, обусловленное несовершенством колодца.

Для вычисления ΔS используется выражение, полученное на основе решения Маскета:

$$\Delta S = 0{,}16 \frac{Q}{km} \zeta, \tag{IV.6}$$

где

$$\zeta = 2{,}3 \left(\frac{m}{l} - 1 \right) \lg \frac{4m}{r} - \frac{m}{2l} A, \tag{IV.7}$$

Здесь m — мощность водоносного пласта;

l — длина водоприемной части колодца (длина фильтра); в данном случае принято, что фильтр примыкает к кровле;

A — функция, значения которой находятся по графику, приведенному на рис. IV.49, в зависимости от степени вскрытия водоносного пласта $\bar{h} = l/m$.

При весьма большой мощности водоносного пласта дебит несовершенного колодца можно определить по формуле

$$Q = \frac{2\pi klS}{\ln \dfrac{1{,}32l}{r_0}} = 2{,}73 \frac{klS}{\lg \dfrac{1{,}32l}{r_0}}. \tag{IV.8}$$

Эта формула дает ошибки не более 10% при $l/m \leqslant 1/3$—$1/4$ и $r_0/m \leqslant 5$—8. Достоинством последней формулы является отсутствие в ней трудноопределяемой величины R.

Совершенный колодец в безнапорных водоносных пластах (рис. IV.50). При откачке воды из безнапорного водоносного пласта с его частичным осушением происходит уменьшение мощности пласта. При этом дебит Q в отличие от напорного пласта связан с понижением уровня S не линейно, а по закону параболы.

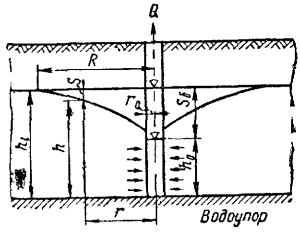


Рис. IV.50

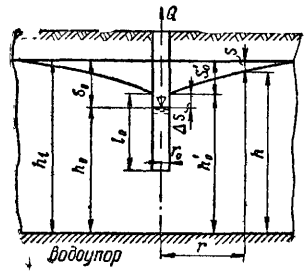


Рис. IV.51

Общий вид расчетных формул в этом случае остается прежним, но вместо понижения уровня S в них вводится разность квадратов глубин воды по соотношению:

$$S_н = \frac{h_l^2 - h_0^2}{2m} = \frac{(2h_l - S_б)S_б}{2m}, \qquad (IV.9)$$

где $S_н$ — понижение уровня (S в формуле для напорных вод);

h_l, h_0 — глубина воды в колодце в безнапорных водах соответственно до начала откачки и в процессе откачки;

m — мощность напорного пласта;

$S_б$ — понижение уровня в безнапорном пласте, равное $S_б = h_l - h_0$.

Поставив выражение (IV.9) в формулу (IV.1), получим следующую зависимость для колодцев в безнапорных пластах:

$$Q = 1{,}36\frac{k(2h_l - S_б)S_б}{\lg\frac{R}{r}}. \qquad (IV.10)$$

Отсюда

$$S_б = h_l - \sqrt{h_l^2 - 0{,}73\frac{Q}{k}\lg\frac{R}{r}}. \qquad (IV.11)$$

В условиях неустановившегося движения величина R здесь определяется в зависимости от коэффициента пьезопроводности a и времени t по формуле (IV.3). При этом коэффициент пьезопроводности в безнапорных водоносных пластах находится из соотношения

$$a = \frac{kh_{ср}}{\mu}, \qquad (IV.12)$$

где k — коэффициент фильтрации;

$h_{ср}$ — средняя мощность водоносного пласта в период откачки;

μ — коэффициент водоотдачи пласта (при его осушении).

Коэффициент пьезопроводности a в безнапорных пластах обычно колеблется от 100 до 5000 м^2/сутки.

Несовершенные колодцы в безнапорных пластах (рис. IV.51), так же как это указывалось выше для напорных пластов, рассчитываются путем учета дополнительного сопротивления движению частиц воды и соответствующего дополнительного понижения уровня ΔS, определяемого в этом случае по формуле

$$\Delta S = h_0' - \sqrt{(h_0')^2 - 0{,}37\frac{Q}{k}\zeta}\ , \qquad \text{(IV.13)}$$

где

$$h_0' = h_l - S_0'. \qquad \text{(IV.14)}$$

Здесь h_l — первоначальная (до начала откачки) глубина воды до водоупора;

S_0' — понижение уровня, обусловленное откачкой из совершенного колодца и определяемое по формуле (IV.11);

ζ — безразмерная функция, значения которой находятся по формуле (IV.7) с помощью графика на рис. IV.49.

При этом для безнапорных пластов принимается:

$$\left.\begin{aligned} m &\approx h_l - \frac{S_0}{2}; \\ l &\approx l_0 - \frac{S_0}{2}. \end{aligned}\right\} \qquad \text{(IV.15)}$$

И соответственно

$$\bar{h} = \frac{l}{m} = \frac{l_0 - \frac{S_0}{2}}{h_l - \frac{S_0}{2}}. \qquad \text{(IV.16)}$$

где l_0 — действительная длина водоприемной части колодца;

S_0 — максимальное понижение уровня при откачке.

Кривые зависимости $Q=f(S)$ и удельный дебит колодца. Для данного трубчатого колодца путем пробных откачек может быть определена зависимость его дебита Q от глубины откачки S или обратная зависимость $S=\varphi(Q)$.

Указанные зависимости суммарно учитывают сопротивление движению воды в грунте, фильтре и самом колодце.

Для напорных вод теоретически зависимость $Q=f(S)$ является линейной, т. е. дебит меняется пропорционально глубине откачки (рис. IV.52, *а*). В этом случае величина удельного дебита

$$q = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{Q_2}{S_2} = \ldots = \text{const}.$$

Для ориентировочных расчетов можно принимать следующие значения удельных дебитов q в м³/ч трубчатых колодцев в напорных водоносных грунтах:

Пески:	
очень мелкие	⩽0,5
мелкие	2—4
средней крупности	4—8
крупные с примесью гравия	10—12

При откачке безнапорных вод зависимость $Q=f(S)$ имеет криволинейный характер (рис. IV.52, *б*), поскольку, как уже отмечалось, при увеличении S уменьшается толщина слоя грунтового потока, питающего колодец. В этом случае величина удельного дебита будет уменьшаться пропорционально увеличению S.

Практически в результате значительных гидравлических сопротивлений, возникающих в колодцах при откачке, кривые зависимости $Q=f(S)$ как в напорных, так и в безнапорных пластах почти всегда в той или иной мере отклоняются от своих теоретических положений, поэтому для аналитического их выражения применяют эмпирические формулы. В частности, широко пользуются формулой вида

$$S = \alpha Q + \beta Q^2, \qquad \text{(IV.17)}$$

где коэффициенты α и β находятся по опытным данным.

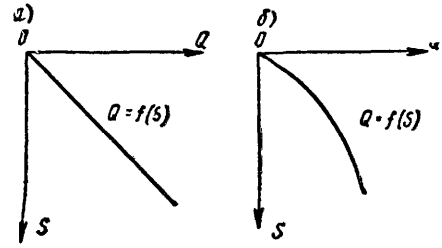


Рис. IV 52

Например, имея замеры понижений уровня S_1 и S_2 соответственно при дебитах Q_1 и Q_2 можно составить по формуле (IV.17) два уравнения и, решая их совместно, определить α и β. При наличии нескольких (больше трех — пяти) замеров (S и Q) коэффициенты α и β определяют графоаналитическим путем. Для этого формулу (IV.17) приводят к линейному виду путем деления левой и правой ее частей на Q:

$$\frac{S}{Q} = \alpha + \beta Q. \qquad \text{(IV.18)}$$

График в координатах $(S/Q) - Q$ дает прямую линию с начальной ординатой α и угловым коэффициентом β. Если опытные точки ложатся на данную прямую, можно считать, что зависимость дебита и уровня (IV.17) удовлетворяется.

Нередко лучшие результаты получаются при использовании степенной зависимости между S и Q:

$$S = pQ^m, \qquad \text{(IV 19)}$$

где p и m — коэффициенты, определяемые, как и в предыдущем случае, по опытным данным. Для их вычисления можно также применить линейное преобразование уравнения (IV.19). Так, если прологарифмировать правую и левую его части, то получим:

$$\lg S = \lg p + m \lg Q. \qquad \text{(IV.20)}$$

График в координатах $\lg S - \lg Q$ выразится прямой линией с начальной ординатой $\lg p$ и угловым коэффициентом m. Зависимость (IV.19) можно считать справедливой, если опытные точки ложатся на эту прямую.

По уравнениям (IV.17) и (IV.19) можно производить расчет дебита данного колодца, задаваясь более значительными понижениями уровня, чем при опытных откачках, или расчет понижения уровня при больших величинах дебита. Но при этом должно учитываться взаимное влияние всех колодцев водосбора.

§ 70. РАСЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ

При отборе воды из водоносного пласта несколькими буровыми колодцами они могут оказаться взаимодействующими, т. е. при откачке воды из таких колодцев дебит каждого из них будет изменяться (снижаться) по сравнению с их дебитом при независимой работе (при тех же понижениях уровня воды). Если же колодцы эксплуатируются при практически постоянных дебитах (например, в случае, когда колодцы оборудованы погружными артезианскими насосами), в результате их взаимного влияния происходит дополнительное понижение уровня воды как в них самих, так и в удаленных от них точках водоносного пласта.

Степень взаимного влияния колодцев будет зависеть от расстояния между ними, мощности, водообильности и условий питания водоносного пласта, а также от характера водоносных грунтов. Кроме того,

наличие и степень взаимодействия будут зависеть от количества отбираемой воды. Одни и те же колодцы могут не взаимодействовать при малых откачках (и, следовательно, малых понижениях уровня) и начать взаимодействовать при больших откачках (и больших понижениях).

Для учета степени взаимного влияния колодцев можно вводить коэффициент влияния $\beta = Q'/Q$ или коэффициент снижения дебита $\alpha = (Q - Q')/Q$, где Q — дебит колодца при отсутствии взаимодействия; Q' — дебит колодца при наличии взаимодействия (при том же понижении уровня воды в колодце). Очевидно, что $\alpha + \beta = 1$, а так как $Q' = \beta Q$, то можно записать $Q' = (1 - \alpha) Q$.

Формулы для расчета взаимодействующих колодцев могут быть получены из приведенных выше формул для одиночных колодцев, если воспользоваться методом наложения (суперпозиции) фильтрационных течений. В соответствии с этим методом при определении понижения уровня в каком-либо из взаимодействующих колодцев последовательно находят понижения в нем, обусловленные откачкой из каждого колодца в отдельности (независимо от остальных взаимодействующих колодцев, т. е. так, как если бы каждый колодец эксплуатировался самостоятельно). Эти понижения складываются, и таким путем вычисляется суммарное понижение

$$S_{\text{сум}} = S_{0-\nu} + S_{1-\nu} + S_{2-\nu} + \ldots + S_{n-\nu}, \qquad \text{(IV.21)}$$

где $S_{1-\nu}$, $S_{2-\nu}$, ..., $S_{n-\nu}$ — понижение уровня в колодце, имеющем номер ν, под влиянием откачек из колодцев № 1, 2, ..., n (здесь n — общее число взаимодействующих колодцев).

Для определения значений $S_{1-\nu}$, $S_{2-\nu}$, ..., $S_{n-\nu}$ используются формулы для одиночных колодцев.

В соответствии с данной выше формулой (IV.2) для группы любым образом расположенных колодцев получим

$$S_{\text{сум}} = \frac{0{,}37}{km} \sum_{i=0}^{n} Q_i \lg \frac{R}{r_i}.$$

Так, например, для группы четырех взаимодействующих колодцев (рис. IV.53) суммарная величина понижения уровня воды в колодце № 1 будет

$$S_{\text{сум1}} = \frac{0{,}37}{km} \left(Q_1 \lg \frac{R}{r_0} + Q_2 \lg \frac{R}{r_{2-1}} + Q_3 \lg \frac{R}{r_{3-1}} + Q_4 \lg \frac{R}{r_{4-1}} \right). \qquad \text{(IV.22)}$$

Здесь Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 — дебиты взаимодействующих скважин;

R — условный радиус влияния, точнее радиус дальности действия каждого из системы взаимодействующих колодцев, определяемый по опытным данным для условий установившегося движения или по формуле (IV.3) для неустановившегося движения;

r_0 — радиус скважины № 1;

r_{2-1}, r_{3-1}, r_{4-1} — расстояния от скважины № 1, в которой определяется величина $S_{\text{сум1}}$, до остальных скважин.

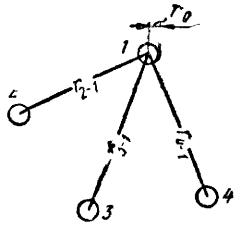


Рис. IV.53

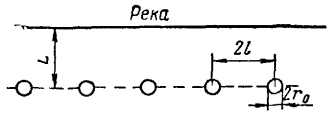


Рис. IV.54

Для расчета линейного ряда колодцев у реки можно использовать следующую приближенную формулу (рис. IV.54):

$$S = \frac{Q}{2k\pi m}\left(\frac{L}{l} + 0{,}73 \lg \frac{l}{\pi r_0}\right), \qquad \text{(IV.23)}$$

где L — расстояние от ряда колодцев до русла реки;

l — половина расстояния между скважинами в ряду (полное расстояние между ними равно $2l$).

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Формулы (IV.22) и (IV.23) даны для напорных пластов. Но, пользуясь выражением (IV.9), можно привести их к виду, пригодному для расчета буровых колодцев в безнапорных пластах.

Если взаимодействующие колодцы являются несовершенными, к понижению уровня S, определенному по указанным формулам, добавляется дополнительное понижение ΔS, вычисленное по формулам (IV.6) и (IV.13) соответственно для напорного и безнапорного пласта.

Изложенные сведения о взаимодействии колодцев позволяют решить вопрос и о назначении расстояний между ними. Чем дальше друг от друга располагаются колодцы, тем меньше будет сказываться их взаимодействие на снижении дебита, но одновременно будет увеличиваться стоимость коммуникаций. Поэтому в ряде случаев по экономическим соображениям целесообразно идти на сокращение расстояний между колодцами, допуская некоторое снижение дебита. Этот вопрос может быть решен в каждом отдельном случае в результате технико-экономических расчетов с учетом строительных и эксплуатационных затрат, а также местных условий.

§ 71. СХЕМЫ ВОДОСБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ. ОБОРУДОВАНИЕ КОЛОДЦЕВ

Схемы водосборных сооружений с использованием трубчатых колодцев зависят как от масштабов водопотребления и мощности водоносных пластов, так и от методов получения воды из колодцев. При относительно малых количествах забираемой воды и наличии водообильных водоносных пластов можно обойтись одиночными колодцами. Но в большинстве случаев при устройстве централизованных систем водоснабжения городов и промышленных предприятий приходится использовать несколько одновременно работающих колодцев. Иногда эти колодцы рассредоточены по территории снабжаемого водой района, иногда сконцентрированы в одном месте, наиболее благоприятном для захвата подземных вод. Методы получения воды из трубчатых колодцев

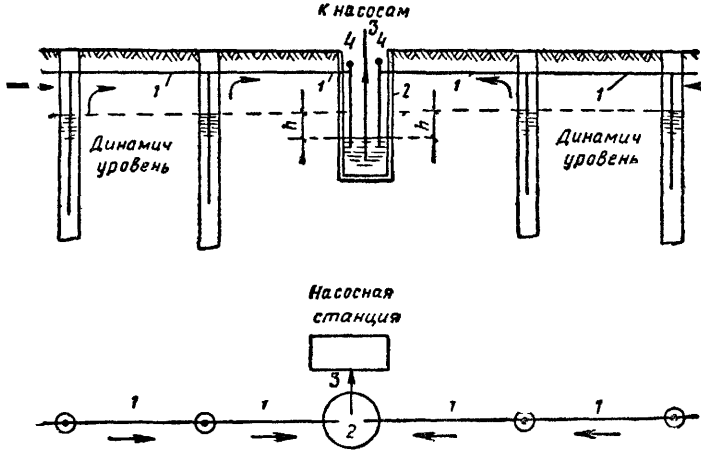


Рис. IV.55

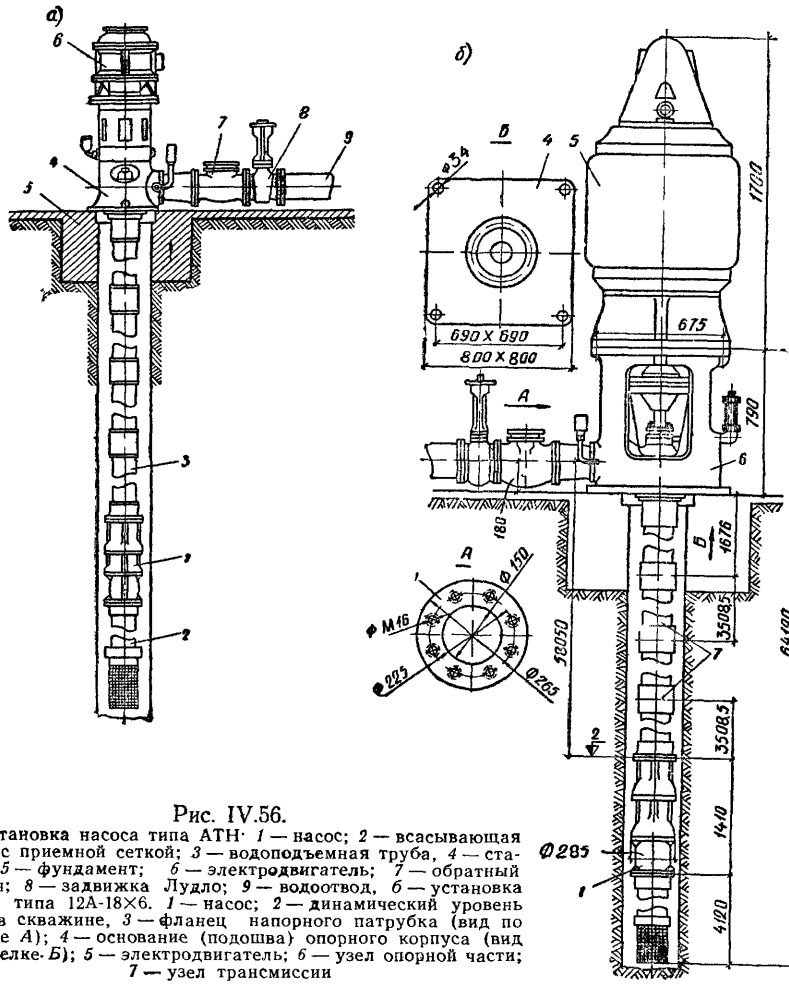


Рис. IV.56.

а — установка насоса типа АТН: *1* — насос; *2* — всасывающая труба с приемной сеткой; *3* — водоподъемная труба, *4* — станина; *5* — фундамент; *6* — электродвигатель; *7* — обратный клапан; *8* — задвижка Лудло; *9* — водоотвод, *б* — установка насоса типа 12А-18×6. *1* — насос; *2* — динамический уровень воды в скважине, *3* — фланец напорного патрубка (вид по стрелке *А*); *4* — основание (подошва) опорного патрубка (вид по стрелке *Б*); *5* — электродвигатель; *6* — узел опорной части; *7* — узел трансмиссии

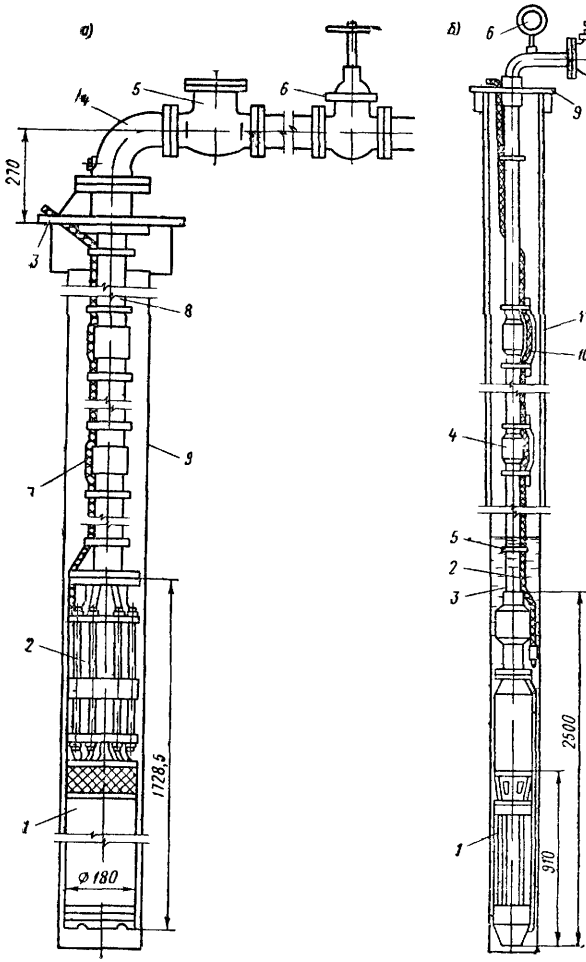


Рис IV 57

а — установка насоса типа 8АП: *1* — электродвигатель, *2* — насос; *3* — опорная плита, *4* — колено, *5* — обратный клапан, *6* — задвижка, *7* — кабель, *8* — водоподъемная труба, *9* — обсадная труба, *б* — установка насоса типа ЭПЛ 6 *1* — насос с электродвигателем, *2* — кабель, *3* — труба водоподъемная; *4* — муфты, *5* — хомуты крепления кабеля, *6* — манометр *7* — задвижка, *8* — водомер, *9* — крышка скважины, *10* — кожух кабеля, *11* — обсадная труба

зависят от глубины расположения ее уровня. Напорные (артезианские) воды после сооружения колодца могут:

а) самоизливаться под естественным давлением в пласте;

б) подниматься настолько близко к дневной поверхности, что их можно забирать насосами обычных типов;

в) устанавливаться настолько глубоко, что их подъем возможен лишь при помощи специальных глубоководных насосов, гидроэлеваторов или эрлифтов.

От самоизливающихся (фонтанирующих) колодцев вода отводится самотечными трубами в сборный резервуар, из которого она перекачивается насосами.

При относительно неглубоком расположении уровня напорных вод или неглубоко залегающем безнапорном водоносном пласте целесообразно соединять трубчатые колодцы сифонными трубопроводами (рис. IV.55). При этом сифонные соединительные линии *1* могут подавать воду в сборный шахтный колодец *2*, из которого она откачивается (по всасывающим трубам *3*) насосами, установленными на станции первого подъема Из верхних точек *4* сифонной магистрали производится удаление воздуха при помощи вакуум-насосов.

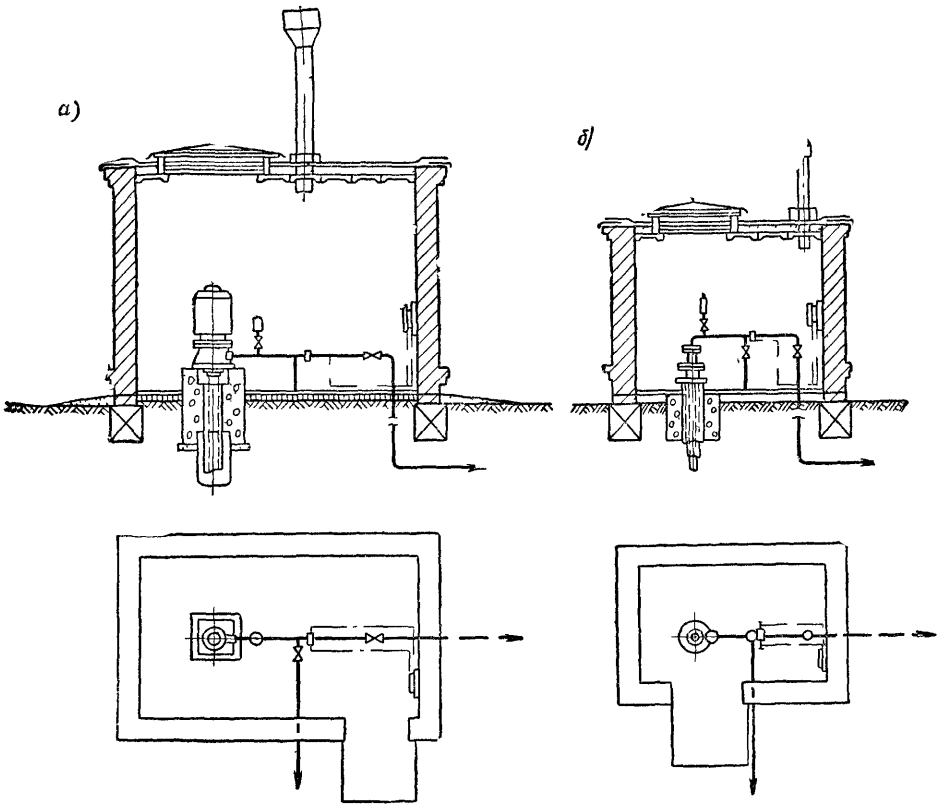


Рис. IV.58

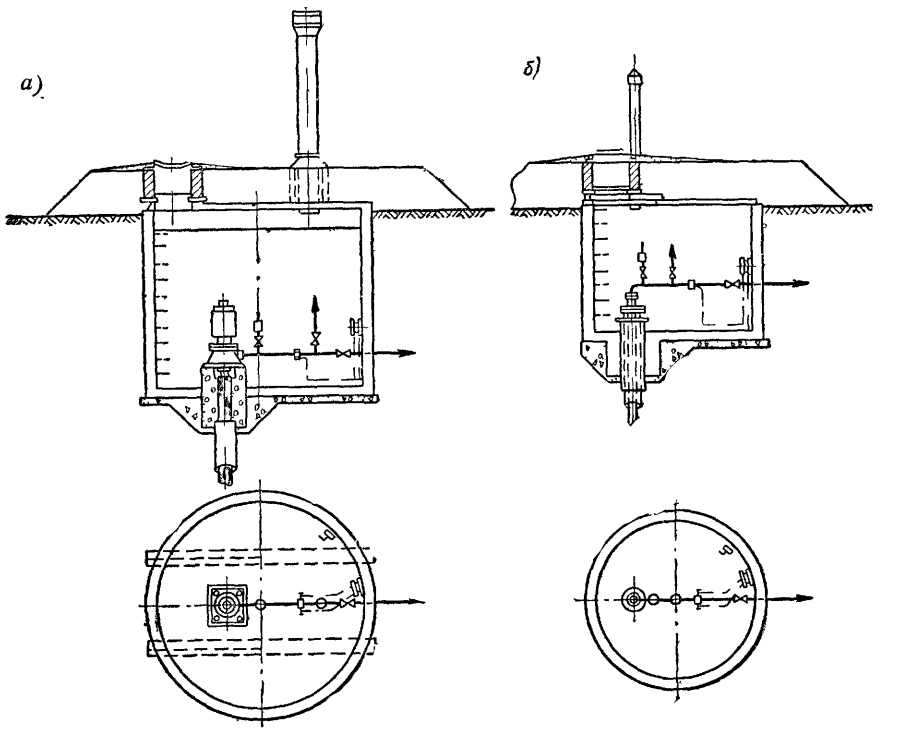
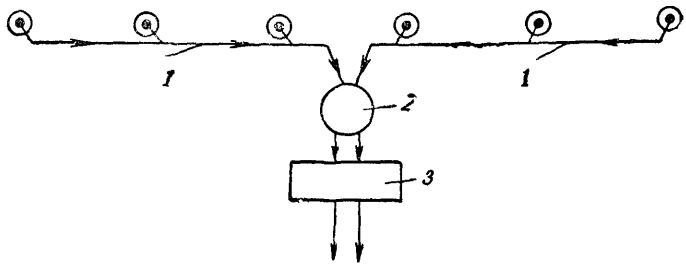


Рис. IV.59

Рис. IV.60



Сифонная магистраль, забирающая воду из ряда трубчатых колодцев, может быть присоединена также непосредственно к всасывающему патрубку центробежного насоса или к вакуум-котлу. И в этом случае из сифонной магистрали должно быть обеспечено непрерывное удаление воздуха вакуум-насосом. Производительность его определяют на основании приближенных расчетов количества воздуха, который может поступать в сифонную линию как с забираемой водой, так и через неплотности соединений труб. Точный расчет количества воздуха в сифонных системах крайне затруднителен. Для приближенных расчетов обычно принимают, что 1 м^3 забираемой воды может выделить до 25 л воздуха, а через неплотности соединений может поступать количество воздуха, примерно равное 1 л/с на 1 км длины сифонной линии.

В целях обеспечения требуемого вакуума сифонные линии необходимо выполнять возможно более герметичными. Как правило, для них используют стальные трубы со сваркой их стыков.

Наибольшая высота всасывания воды из колодца, практически возможная при использовании сифонных линий, составляет 6 м, если сифонная магистраль присоединена непосредственно к насосу, и не более 7 м при использовании вакуум-котлов.

Для снижения потерь напора в сифонных линиях их диаметры обычно принимают исходя из относительно малых значений расчетной скорости движения воды — 0,6—0,7 м/с.

Сифонные линии укладывают с некоторым подъемом к сборному колодцу (или к насосной станции).

В тех случаях, когда динамический уровень воды залегает глубоко (на глубине более 10 м от поверхности земли), каждый колодец оборудуется специальными скважинными или, как их еще называют, артезианскими глубоководными насосами.

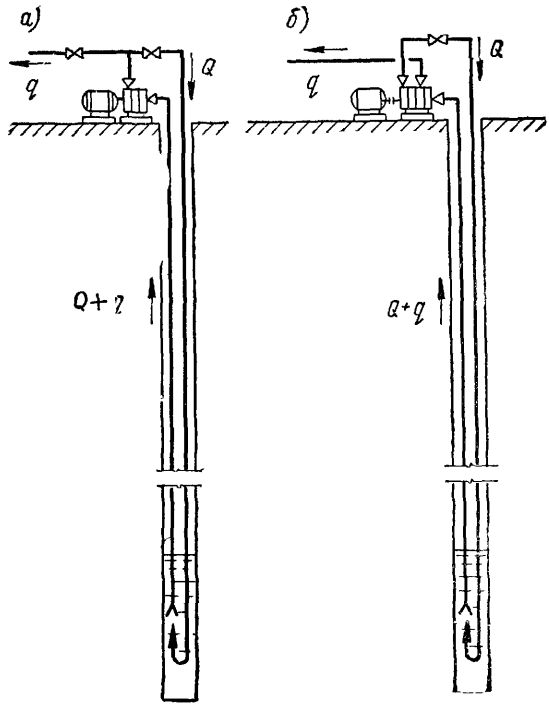


Рис. IV.61

Скважинные насосы подразделяются на два типа: 1) насосы с вертикальным трансмиссионным валом и электродвигателем, устанавливаемым на поверхности (рис. IV.56); 2) погружные насосы — с электродвигателем, размещающимся в скважине под динамическим уровнем воды (рис. IV.57).

Над устьем колодца устраивают павильоны — на поверхности земли (рис. IV.58) или ниже поверхности земли (рис. IV.59). На рис. IV.58, *а* и IV.59, *а* даны схемы таких павильонов для насосов с электродвигателем на поверхности, а на IV.58, *б* и IV.59, *б* — схемы таких павильонов для погружных насосов.

Схема расположения водосборных сооружений при оборудовании колодцев артезианскими насосами показана на рис. IV.60. Насосы подают воду по напорным трубопроводам *1* в сборный резервуар *2*. Отсюда вода забирается насосами станции второго подъема *3* и нагнетается по водоводам к объекту водоснабжения.

В некоторых случаях насосы, расположенные в колодцах, подают воду непосредственно в водовод, идущий к потребителю.

Для колодцев со сравнительно небольшим дебитом (до 10—15 м³/ч) применяют водоструйные (эжекторные) водоподъемные установки. На рис. IV.61 показаны схемы подъема воды из колодцев при помощи водоструйных водоподъемных установок. Наиболее совершенной является схема, приведенная на рис. IV.61, *б*. В этой схеме применен так называемый двухпоточный насос. Отбор полезного расхода q с относительно небольшим напором осуществляется у промежуточной ступени этого насоса, а расход эжектирующей воды Q с полным напором, развиваемым насосом, отбирается у последней ступени насоса.

§ 72. ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ

Шахтные колодцы чаще всего применяют для приема относительно неглубоко залегающих вод (обычно на глубине не более 20 м) из безнапорных водоносных пластов. В редких случаях эти колодцы используют для приема слабонапорных вод (при незначительном заглублении и незначительной мощности напорных водоносных пластов).

Обычно прием воды в шахтные колодцы осуществляется через их дно и частично стенки.

Шахтные колодцы применяют для приема небольших количеств воды при индивидуальном пользовании, а также в водоснабжении сельских местностей, во временных водопроводах и т. п.

В крупных централизованных системах водоснабжения шахтные колодцы применяют относительно редко, так как здесь более экономичным является применение трубчатых колодцев с использованием хотя и более глубоких, но зато более мощных водоносных пластов.

Шахтные колодцы бывают бетонными, железобетонными, каменными (из кирпича или бутового камня) и деревянными (срубовыми). При небольшом диаметре колодцев их можно делать сборными из железобетонных колец.

Шахтные колодцы обычно строят опускным способом. В последнее время начали применять механизированный способ рытья шахтных колодцев при помощи установленного на автомашине механизма, представляющего собой устройство для бурения и опускания железобетонных колец, образующих шахту колодца.

Принципиальная схема шахтного колодца, забирающего воду из безнапорного водоносного пласта (в основном через дно), показана на

рис. IV.62. На дно колодца укладывается обратный фильтр в виде слоев гравия с возрастающей кверху крупностью для предотвращения занесения в колодец частиц песка из водоносного пласта.

В стенках колодца в пределах водоносного пласта для увеличения притока воды в колодец могут устраиваться отверстия. В колодцах из бутового камня или кирпича роль таких отверстий выполняют щели в кладке; в бетонных колодцах устраивают специальные отверстия в их стенках.

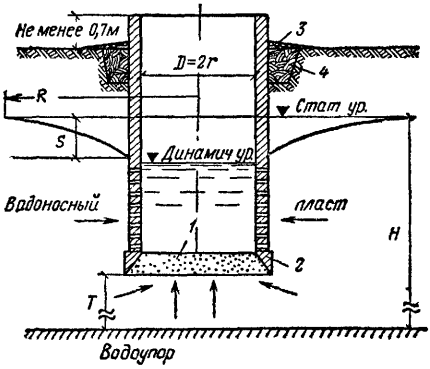


Рис. IV.62

1 — фильтр; *2* — нож; *3* — отмостка; *4*—глиняный замок

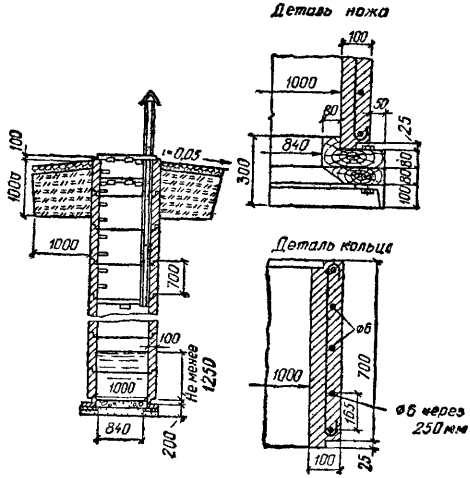


Рис. IV.63

Диаметр шахтного колодца обычно не превышает 3—4 м. При больших расчетных диаметрах целесообразнее увеличивать число колодцев. При устройстве нескольких колодцев их располагают в одну линию и соединяют между собой сифонными (иногда самотечными) трубами. Отбор воды осуществляется насосами из сборного колодца, который часто используется одновременно и для приема воды из грунта.

Благодаря значительным размерам сборных шахтных колодцев иногда оказывается возможным разместить в них насосное оборудование, т. е. осуществить совмещенный с насосной станцией тип водоприемника.

Любой шахтный колодец должен быть выведен не менее чем на 0,7 м выше поверхности земли. Вокруг колодца у поверхности земли устраивают глиняный замок на глубину 1,5—2 м и в радиусе около 2 м — отсыпку с мощением или асфальтировкой для предотвращения попадания в колодец загрязненных поверхностных вод.

Расчет шахтных колодцев заключается в определении их диаметра и числа по заданному расходу и в проверке дебита колодца при намеченном диаметре и допустимой (или желательной) глубине понижения уровня воды.

Для определения дебита шахтных колодцев, принимающих воду из водоносного пласта через дно, существует ряд формул.

Приток воды к тому колодцу при условии, что $T \geqslant 2r$ (см. рис. IV.62), может быть определен по приближенной формуле, предложенной В. Д. Бабушкиным:

$$Q = \frac{2\pi k S r}{\frac{\pi}{2} + \frac{r}{T}\left(1 + 1{,}18 \lg \frac{R}{4H}\right)}, \qquad \text{(IV.24)}$$

где k — коэффициент фильтрации;
S — понижение уровня воды при откачке;
$r=D/2$ — внутренний радиус колодца;
T — расстояние от дна колодца до подстилающего водоупора;
R — радиус влияния колодца;
H — мощность водоносного пласта.

При увеличении мощности водоносного пласта H и расстояния от дна колодца до водоупора T второе слагаемое в знаменателе приведенной формулы стремится к нулю. Когда $R/H<10$, этим слагаемым можно пренебречь и пользоваться формулой Форхгеймера

$$Q=4krS. \qquad \text{(IV.25)}$$

Определяя по приведенным формулам дебит при допустимых для данных условий глубинах понижения, можно судить о достаточности этого дебита, а следовательно, и о правильности принятого диаметра колодца. При первых прикидках может оказаться, что для отбора требуемого количества воды понижение S не может быть получено при имеющейся мощности водоносного пласта или потребует значительного увеличения глубины колодца. В этих случаях приходится принимать больший диаметр колодца или увеличивать число колодцев.

При проектировании колодца следует иметь в виду, что слой воды в нем должен быть не менее 1—2 м.

Конструкции и оборудование шахтных колодцев весьма разнообразны.

На рис. IV.63 показано устройство сборного железобетонного шахтного колодца (из колец).

В сельских местностях широкое применение нашли деревянные срубовые колодцы для индивидуального или группового пользования. Эти колодцы имеют квадратную форму в плане, размеры в пределах от 1×1 до 1,4×1,4 м и устраиваются из бревен 14—18 см, стесанных с внутренней стороны, или пластин из бревен 20—22 см. После окончания работ по установке сруба на дне колодца укладывают «донный» (обратный) фильтр в виде слоев песка и гравия, крупность которых возрастает снизу вверх.

§ 73. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ВОДОСБОРЫ

Горизонтальные водосборы применяют при малой глубине залегания водоносного пласта (до 5—8 м) и относительно небольшой его мощности. Они представляют собой дренажи разных типов или водосборные галереи (рис. IV.64), укладываемые в пределах водоносного пласта (обычно непосредственно на подстилающем водоупоре). Водосборное устройство часто располагают по линии, перпендикулярной направлению движения грунтового потока. Вода, поступившая из грунта в дренажные трубы или галереи, подается по ним в сборный колодец, откуда откачивается насосами.

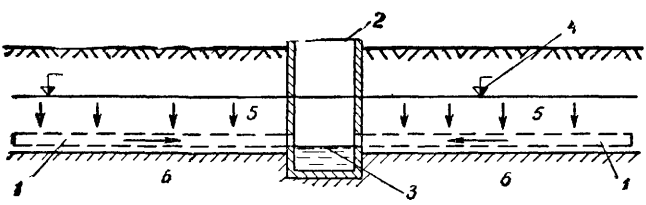


Рис. IV.64
1 — горизонтальные водосборы; *2* — сборный колодец; *3* — уровень воды в сборном колодце; *4* — статический уровень подземных вод; *5* — водоносный пласт; *6* — водоупор

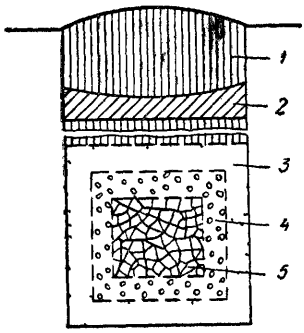
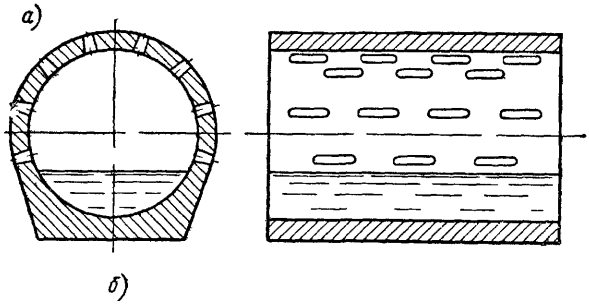


Рис IV 65

1 — местный грунт *2* — экран из водонепроницаемого грунта *3* — крупнозернистый песок, *4* — гравии *5* — выкладка из рваного камня или щебня



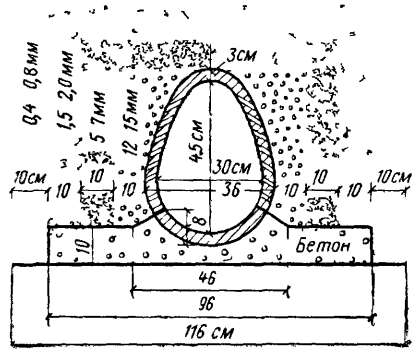


Рис IV 66

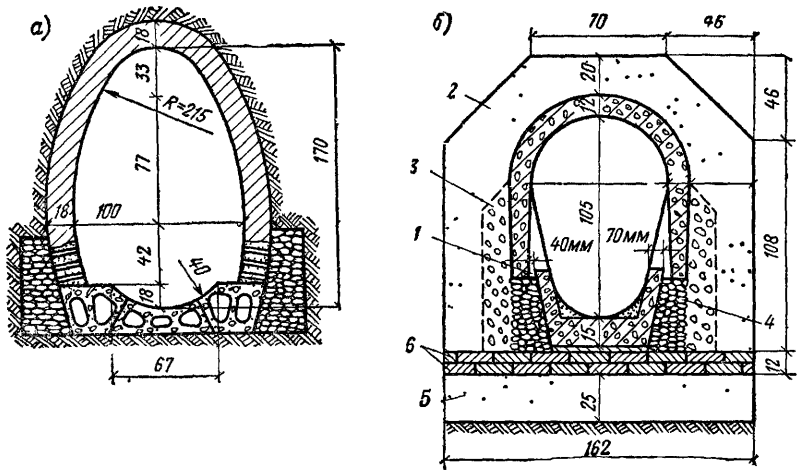


Рис IV 67

Все конструкции горизонтальных водосборов можно разделить на следующие три группы

1) траншейные водосборы с засыпкой камнем или щебнем;
2) трубчатые водосборы,
3) водосборные галереи

Траншейные водосборы (рис IV 65) являются наименее совершенным типом горизонтальных водосборов.

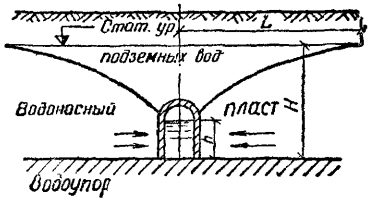


Рис. IV.68

Трубчатые водосборы представляют собой керамические, бетонные или железобетонные трубы круглого или овоидального сечения с фильтрующей гравийно-песчаной обсыпкой вокруг них. На рис. IV.66, *а* показана дырчатая бетонная труба трубчатого водосбора. При укладке в грунт труба обсыпается гравием и песком, образующими обратный фильтр. На рис. IV.66, *б* показано устройство трубчатого водосбора в очень мелких песках. Водосбор состоит из трубы овоидального сечения, уложенной на бетонной подушке, и четырехслойной обсыпки из гравия и песка различной крупности. В трубе сделаны наклонные отверстия прямоугольного поперечного сечения размером 10×15 мм, расположенные по ее длине в шахматном порядке на расстоянии друг от друга (между центрами) 25 мм.

Устройство водосборных галерей показано на рис. IV.67. На рис. IV.67, *а* приведен поперечный разрез проходной железобетонной галереи овоидального сечения с отверстиями в стенках. На рис. IV.67, *б* показана железобетонная галерея своеобразного типа, имеющая боковые отверстия *1* для входа грунтовых вод, фильтрующихся через крупный песок *2*, гравийную засыпку *3* и щебень *4*. На подстилающий водонепроницаемый грунт уложены слой крупного песка *5* и два ряда досок *6*, на которых располагается галерея. С боков и сверху галерея также окружена слоем крупного песка.

Количество воды, поступающей из безнапорного водоносного пласта в совершенный горизонтальный водосбор (рис. IV.68), может быть определено по уравнению Дюпюи, принимающему для одностороннего притока воды к водосборной галерее следующий вид:

$$Q = lk\frac{H^2 - h^2}{2L}. \qquad \text{(IV.26)}$$

l — длина водосбора;
k — коэффициент фильтрации;
H — мощность водоносного пласта;
h — высота стояния воды в водосборе;
L — зона влияния водосбора.

При двустороннем питании галереи

$$Q = lk\frac{H^2 - h^2}{L}. \qquad \text{(IV.27)}$$

Определение площади поперечного сечения водосборных галерей и трубчатых водосборов по заданным притокам воды в зависимости от их продольного уклона производится методами, применяемыми при расчете самотечных линий канализации и водостоков.

Особый тип горизонтальных водосборов образуют так называемые кяризы, которые устраивались населением предгорьев Средней Азии и Закавказья в течение нескольких предыдущих столетий. Кяриз — это штольня небольшого поперечного сечения (высотой около 1 м и шириной около 0,5 м) и значительной длины.

§ 74. ВОДОСБОРЫ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ТИПА

Если русло реки сложено водопроницаемыми породами, речная вода насыщает их, образуя своеобразный грунтовый поток, медленно движущийся в том же, что и река, направлении. Этот грунтовый поток называют обычно подрусловым потоком или подрусловыми водами. Границы его (нижняя и боковые) определяются в основном характером залегания водонепроницаемых пород. Подрусловые воды движутся в галечниковых и песчано-гравелистых породах и частично питаются грунтовыми водами из водоносных пластов береговых склонов, примыкающих к пойме реки.

Для отбора воды из подруслового потока используются водоприемные сооружения инфильтрационного типа. Эти сооружения по характеру своей работы весьма близки к рассмотренным выше сооружениям для приема подземных вод, а по конструктивному оформлению часто полностью аналогичны последним. Для забора подрусловых вод могут применяться трубчатые и шахтные колодцы, горизонтальные водосборы (дрены, галереи), а также особый тип сооружения — лучевые водосборы (см. далее).

Водосборы инфильтрационного типа могут быть расположены вдоль русла реки, а горизонтальные водосборы, кроме того, и под руслом реки.

На рис. IV.69 показана схема работы водосбора, расположенного вдоль русла реки. В данном случае в качестве водоприемного сооружения использован ряд трубчатых колодцев *А*.

Отбор воды из насыщенного водой грунта приводит к усиленному поступлению воды из реки в грунт. Таким образом, фактически колодец не только забирает воду, насыщающую грунт, но и подсасывает речную воду, которая предварительно фильтруется через грунт. Этот характер работы отразился и на самом названии водосборов — инфильтрационные.

Поступающий из реки в грунт инфильтрат может вызвать интенсификацию процесса заиления (кольматации) поверхности ложа реки взвесью, содержащейся в речной воде. Поэтому скорости фильтрации воды из реки в грунт не должны быть значительными. Так как уровень подрусловых вод связан с уровнем воды в реке, условия работы водоприемных сооружений будут меняться при сезонных колебаниях последнего. На рисунке схематически показано расположение линии депрессии при откачке воды из колодца в период наивысшего уровня воды в реке. Характер правой ветви линии депрессии определяется условиями питания подруслового водоносного слоя грунтовыми водами.

Использование водоприемников инфильтрационного типа для получения речной воды имеет весьма большие преимущества. Во-первых, получаемая вода почти полностью освобождается от взвеси, содержа-

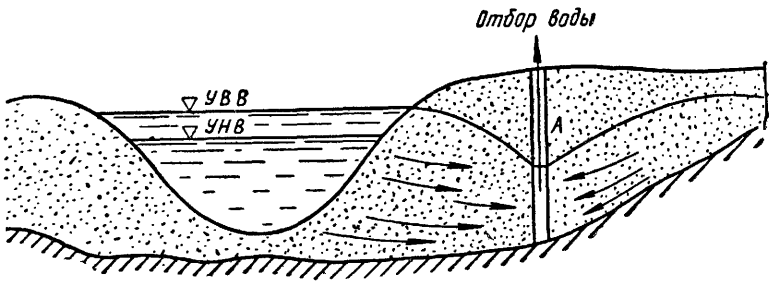


Рис. IV.69

шейся в речной воде, и цветность ее понижается; во-вторых, фильтрация воды через грунт часто значительно повышает ее санитарные качества; в-третьих, исключаются затруднения, связанные с приемом воды из шугоносных рек. Кроме того, инфильтрационные водоприемники позволяют успешно забирать воду из рек с малой глубиной, а также из рек с неустойчивым руслом.

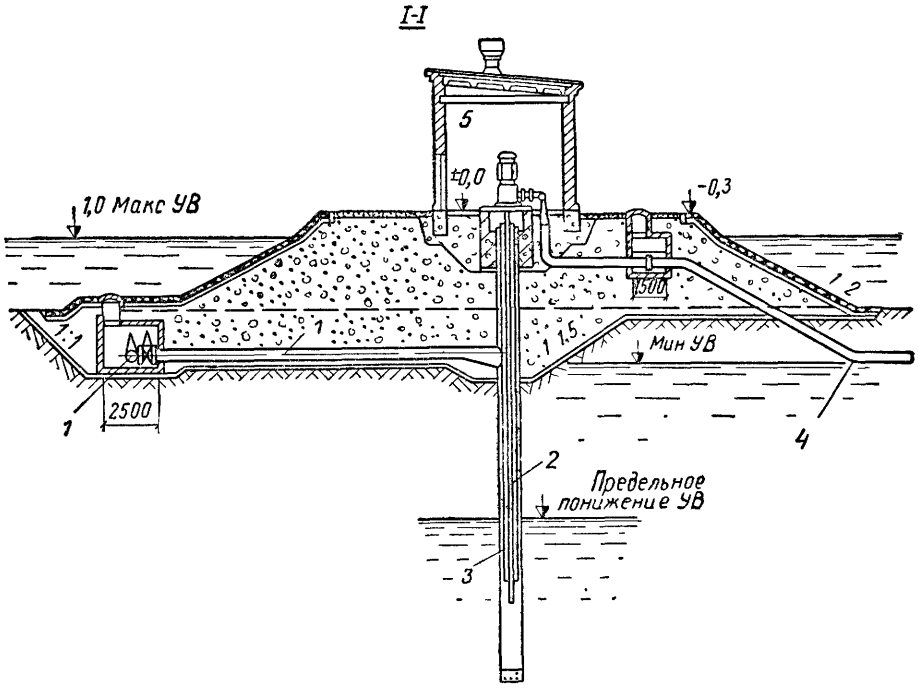


Рис. IV.70

Следует отметить, что проектированию инфильтрационных водосборов, как и других типов сооружений для приема подземных вод, должны предшествовать тщательные гидрологические и гидрогеологические изыскания. В частности, необходимо оценить вероятность поступления в водоприемное сооружение грунтовых вод. В отдельных случаях качество их (высокая минерализация, содержание солей железа и др., наличие привкусов) делает нежелательным их захват (или ограничивает их количество в процентном отношении к речной воде).

Конструкции трубчатых колодцев, применяемых для инфильтрационных водоприемников, типы применяемых фильтров, сифонов, насосов те же, что и при приеме подземных вод.

Что касается компоновки узла сооружения, то обычно трубчатые



План

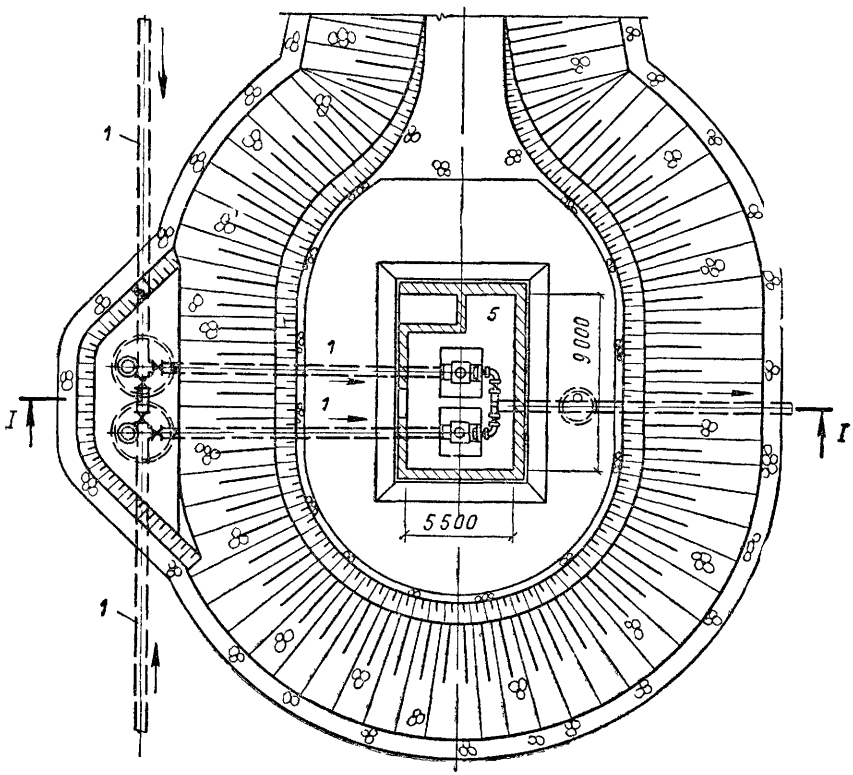


Рис. IV.71

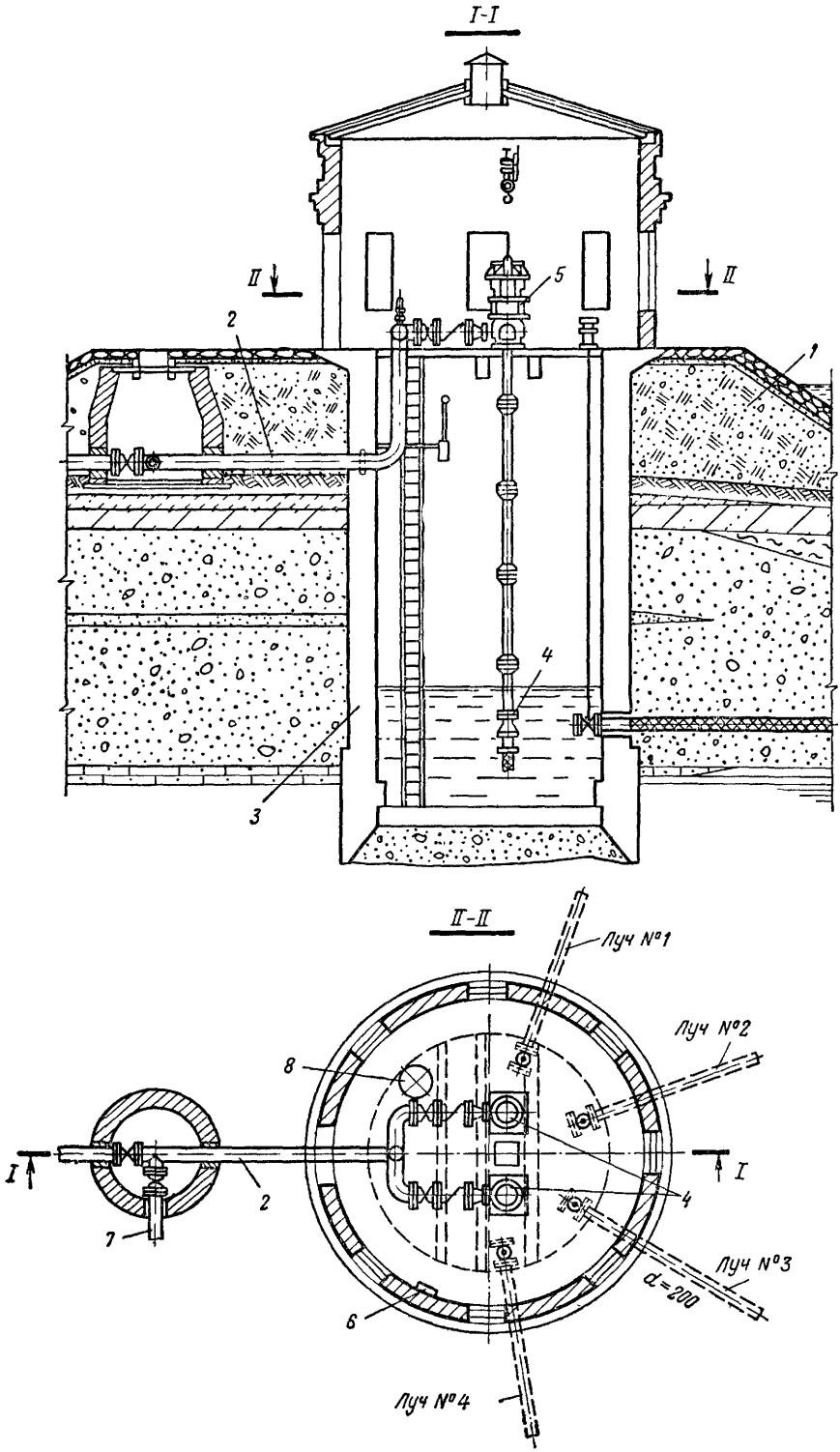


Рис. IV.72

1 — подсыпка из грунта; *2* — напорный трубопровод; *3* — железобетонный шахтный колодец; *4* — насосы; *5* — электродвигатель; *6* — дифманометр; *7* — выпуск; *8* — люк

колодцы, располагаемые вдоль русла реки, соединяются сифонными линиями, подводящими воду к насосной станции.

На рис. IV.70 показана схема водосбора инфильтрационного типа, осуществленного на реке в том месте, где она делает большую петлю. Благодаря этому скважины, расположенные вдоль русла, оказалось возможным объединить четырьмя сифонными линиями (*1—4*), подающими воду к почти центрально расположенной насосной станции *5*. Недостаточная устойчивость русла реки привела к необходимости укрепления берегов *6*, устройства бун *7* и дамб *8*. Насосная станция *5* шахтного типа подает воду потребителям по напорным водоводам *9*.

Горизонтальные водосборные сооружения находят применение в инфильтрационных водоприемниках как в виде водосборных галерей, так и в виде перфорированных труб (в частности, железобетонных) с устройством вокруг них обратного фильтра.

Реже применяются в инфильтрационных водоприемниках шахтные колодцы.

На рис. IV.71 показана насосная станция инфильтрационного водосбора своеобразного типа (трубчатая). Вода из скважин по сборным коллекторам *1* поступает к насосной станции, выполненной в виде двух стальных трубчатых колодцев *2* диаметром по 800 мм. В колодцах располагаются погружные насосы, подающие воду по трубам *3* в напорный водовод *4*. При высоких уровнях воды сборные коллекторы *1* работают как самотечные. При низком стоянии уровней воды эти трубы, присоединенные к кольцевому пространству между трубами *2* и *3* колодца насосной станции, начинают работать как сифонные. Устья колодцев и электродвигатели насосов располагаются в наземном павильоне станции *5*, построенном на насыпном полуострове в целях защиты от затопления в паводки.

Такие трубчатые насосные станции весьма просты и компактны.

Лучевой водосбор представляет собой оригинальное и эффективно работающее водоприемное сооружение, с успехом применяемое для приема подрусловых вод. Вода отбирается расположенными в пределах водоносных пород горизонтальными трубчатыми дренами, радиально присоединенными к сборному шахтному колодцу (рис. IV.72).

На рис. IV.73 показана схема лучевого водосбора в плане. Дрены могут располагаться как вдоль русла реки (в водонасыщенных грунтах), так и под самым ее руслом.

Лучевые водоприемники используются также для забора подземных вод, не имеющих питания из открытых водоемов, при условии, что водоносные пласты относительно небольшой мощности лежат на глубине не более 15—20 м.

Лучевые дрены выполняются из перфорированных (щелевых) стальных труб и устраиваются способом продавливания (звеньями) изнутри шахтного колодца (или бурением). Некоторые методы производства работ по укладке лучевых дрен включают предварительное продавливание обсадных труб, в которые затем вводят дренажные трубы. После установки последних обсадные трубы удаляют. При других методах продавливают непосредственно дренажные трубы, снабженные параболической головкой, к которой под напором подводится вода, выходящая через щели в головке и осуществляющая размыв грунта. Пульпа удаляется по отводной трубе в шахту.

При длине лучей больше 60 м они могут устраиваться телескопическими. В водообильных водоносных пластах лучевые дрены могут располагаться в несколько ярусов. На лучах (при входе в колодец) устанавливаются задвижки. Лучевые водоприемники позволяют наиболее

полно использовать водоносные слои даже малой мощности. Развитие техники подземных проходок облегчает их практическое осуществление.

Учитывая методы производства работ по прокладке дрен, нельзя рекомендовать устройство лучевых водоприемников в водоносных пластах из крупного галечника, или из мелкозернистых пород со значительными вкраплениями валунов, или из пород, подверженных интенсивной кольматации.

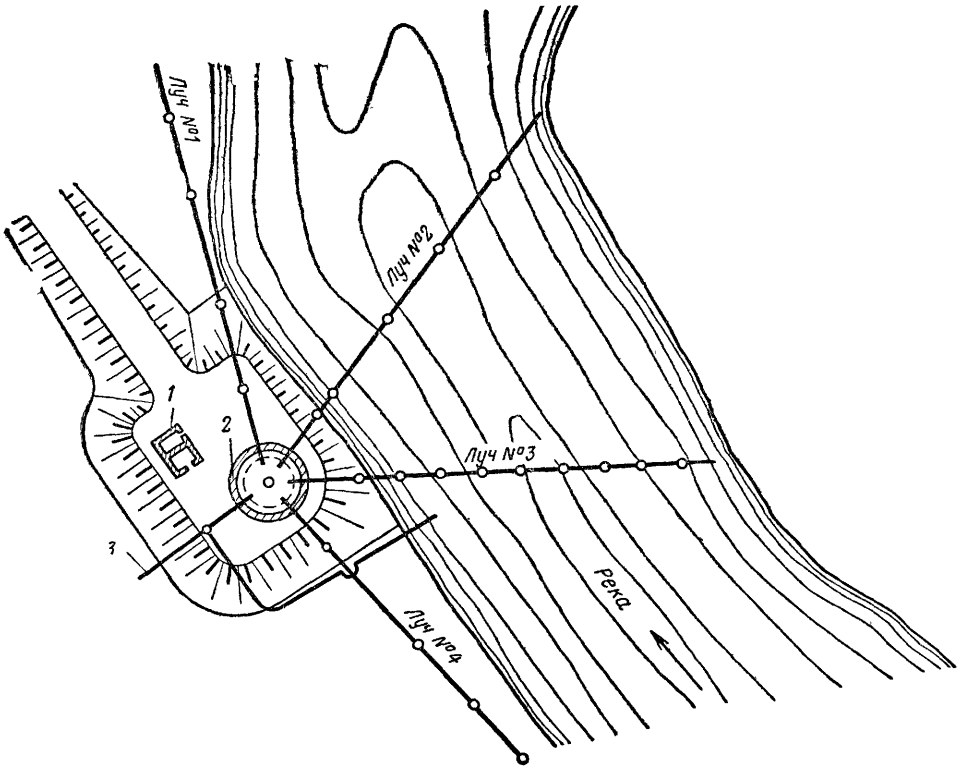


Рис. IV.73

1 — трансформаторная подстанция; *2* — шахтный колодец лучевого водосбора; *3* — напорный водовод

Для расчета применяемых в инфильтрационных водосборах горизонтальных водосборных дрен и галерей, трубчатых и шахтных колодцев используются те же методы, что и для расчета сооружений, служащих для приема обычных подземных вод. В обоих случаях названные сооружения имеют то же конструктивное оформление, те же типы и конструкции фильтров и требуют тех же методов производства работ.

Некоторую специфику имеет расчет лучевых водосборов. Кроме факторов, влияющих на поступление воды в любое сооружение для приема подземных вод, приток воды к лучам зависит от их расположения по отношению к реке (под руслом, вдоль русла, под углом к руслу). Кроме того, на количество воды, собираемое лучевой дреной, будет влиять степень заиления поверхности ложа русла реки, а также совместная работа лучей. Опыт эксплуатации лучевых водосборов дает основание полагать, что суммарное количество воды, забираемое лучами, снижается вследствие их взаимного влияния более чем на 20%.

При проектировании лучевых дрен применяют приближенные методы расчета, используя формулы для обычных дрен и горизонтальных водосборов с введением в них различных уточняющих коэффициентов.

В практике водоснабжения встречается еще один своеобразный метод применения инфильтрационных водосборов: речная вода подается в специальные отрытые в грунте фильтрационные бассейны, насыщает грунт и отбирается от него дренами, колодцами и т. п. В некоторых случаях задача фильтрационных бассейнов несколько видоизменяется

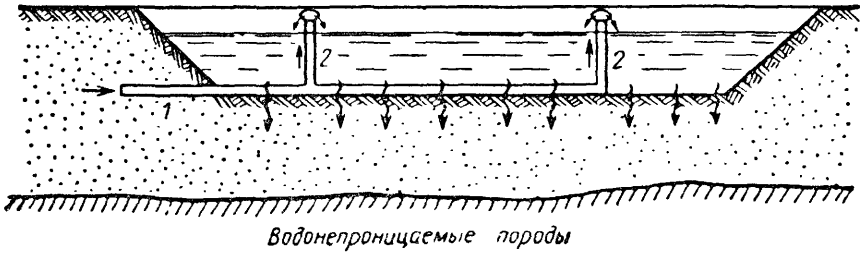


Рис. IV.74

и расширяется, и они используются для искусственного создания грунтовых вод или обогащения (подпитки) существующих, но маломощных запасов естественных подземных вод. В последние годы подобное использование поверхностных вод получило довольно широкое распространение в ряде стран.

Так, в Швеции в настоящее время из общего количества подземных вод, идущих на хозяйственно-питьевые нужды, около $^1/_3$ составляют искусственные подземные воды, получаемые путем подачи в грунт речной или озерной воды.

Наиболее часто в качестве таких инфильтрационных сооружений используются открытые неглубокие бассейны, вырытые в хорошо проницаемых грунтах. В целях снижения безвозвратных потерь подаваемой в грунт воды желательно, чтобы водоносные грунты покоились на относительно неглубоко залегающих водонепроницаемых породах. Иногда вместо бассейнов используются вертикальные инфильтрационные сооружения — поглощающие колодцы или скважины.

На рис. IV.74 приведена схема устройства фильтрационного бассейна. Поверхностная вода подается насосами по водоводу *1* и поступает в бассейн через стояки *2*. Фильтруясь через дно и стенки бассейна, вода насыщает грунт (что ведет к повышению уровня грунтовых вод) и движется в сторону движения грунтового потока (в соответствии с уклоном поверхности подстилающих пород).

Забор воды из грунта, как было сказано, осуществляется водоприемными сооружениями различных типов, обычно применяемыми при использовании подземных вод.

В ряде случаев во избежание быстрого заиления дна фильтрационных бассейнов речная вода подвергается предварительному осветлению на очистных сооружениях.

§ 75. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КАПТАЖА РОДНИКОВЫХ ВОД

Родники, или ключи, представляют собой естественный выход подземных вод на поверхность. Прозрачность, высокие санитарные качества, а также относительно простые способы получения родниковой воды

привели к широкому использованию ее для целей питьевого водоснабжения. Кроме громадного количества мелких населенных мест, использующих родниковую воду, даже ряд крупных городов имеет системы водоснабжения, основанные на питании их водой родников. Для крупных водопроводов обычно используется одновременно несколько групп мощных родников.

Родники бывают двух типов — восходящие и нисходящие. Первые образуются при проникновении в поверхностные слои грунта напорных вод в результате нарушения прочности перекрывающих их водонепроницаемых пород. Вторые образуются в результате выклинивания на поверхность земли безнапорных водоносных пластов, покоящихся на водонепроницаемых породах.

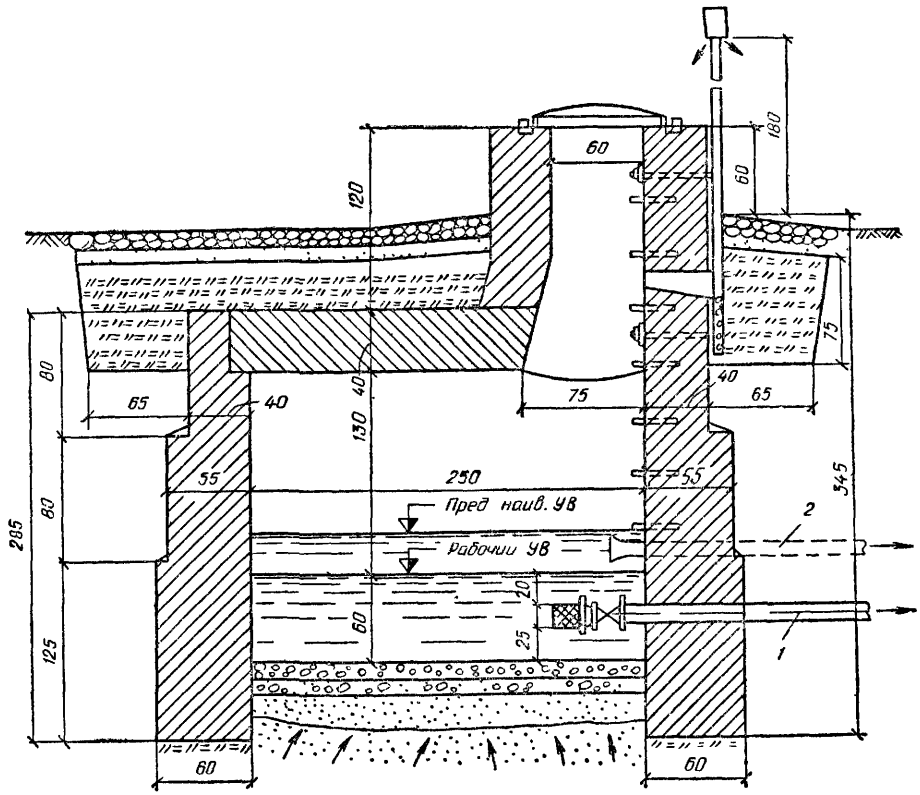


Рис. IV.75

При строительстве сооружений для приема родниковой воды необходимо обеспечить возможно более полный захват родника, расчистить места выхода воды и собрать ее в искусственный водоем, из которого она может подаваться потребителю. Сооружения для приема родниковых вод (в соответствии с характером их работы) получили название каптажных сооружений, а процесс сбора родниковой воды называют каптажем родников. Эти сооружения имеют различное устройство для двух названных типов родников.

Для каптажа восходящих родников водоприемные сооружения выполняются в виде резервуара или шахты, сооружаемой над местом наиболее интенсивного выхода родниковой воды (рис. IV.75).

Если коренные породы, через которые поступает родниковая вода, перекрыты относительно тонким слоем наносного грунта (порядка 2 м), его удаляют. Когда коренные породы представляют собой плотные тре-

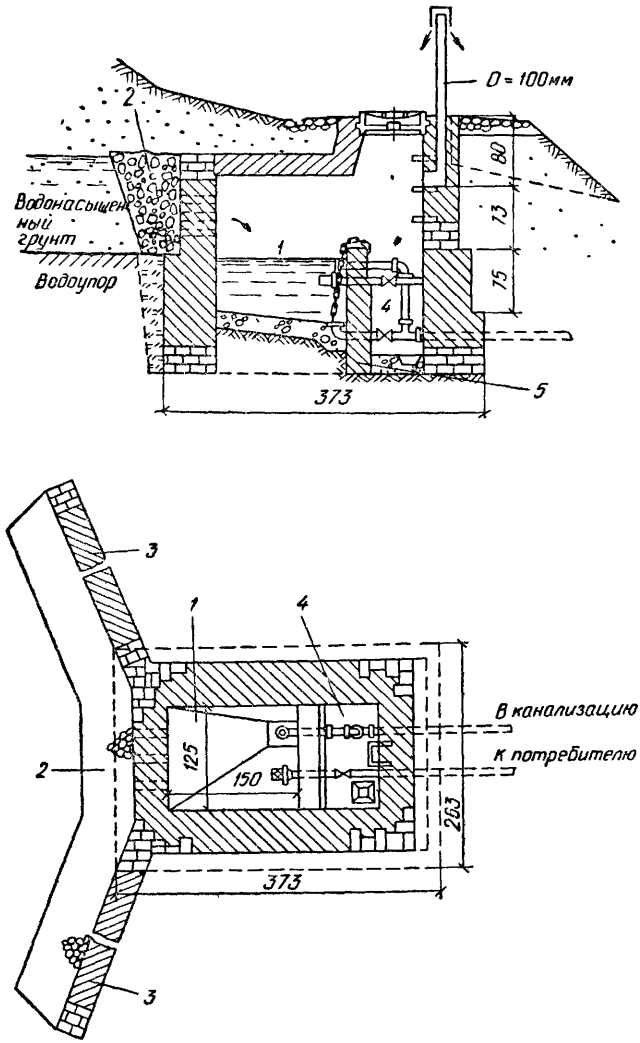


Рис. IV.76

щиноватые образования, их поверхность должна быть расчищена и, если наблюдается вынос частиц песка, засыпана слоем гравия. Если вода выходит из песчано-гравелистых пород, для каптажного сооружения обязательно устройство обратного гравийного фильтра.

Каптажное сооружение, показанное на рис. IV.75, представляет собой кирпичный резервуар с устройством на дне гравийного фильтра. Собранная вода отводится по трубе *1* (к потребителю самотеком или к насосной станции).

Во всех видах сооружений для сбора родниковой воды должна быть исключена возможность образования подпора поступающей из грунта воды. Создание искусственного подпора вызовет снижение деби-

та родника и может привести к тому, что родник вообще найдет себе другой выход на поверхность, обойдя каптажное сооружение. Для предотвращения подпора в сооружении, показанном на рис. IV.75, устроена переливная труба *2*.

Каптаж нисходящих родников осуществляется путем устройства своеобразных приемных камер, располагаемых в месте наиболее интенсивного выхода родниковой воды. В ряде случаев перпендикулярно основному направлению движения родниковой воды для ее перехвата и направления к приемной камере устраиваются сооружения в виде перемычек, подпорных стен и т. п. Иногда вдоль этих перемычек укладывают горизонтальные водосборные трубы или галереи, собирающие воду и облегчающие ее транспортирование к приемной камере.

На рис. IV.76 показан пример каптажного сооружения (расположенного на склоне холма) для приема воды нисходящего родника. Вода поступает в приемную камеру *1* через отверстия в ее задней стенке, обсыпанной снаружи гравийным фильтром *2*. С обеих сторон к камере подходят перегораживающие поток «барражные» стенки *3*. Для подачи воды потребителю, перелива и опорожнения камеры предусмотрены трубы, оборудованные запорной арматурой, расположенной в смотровом колодце *4*, отделенном от приемной камеры стенкой *5*.

Типы и конструкции каптажных сооружений для сбора родниковой воды весьма разнообразны, так как местные условия — геологические, гидрогеологические и топографические — в своих сочетаниях накладывают в каждом отдельном случае некоторые индивидуальные черты на их устройство.

Глава 15

ОХРАНА ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДЫ

Охрана природных водоемов, используемых для водоснабжения, от истощения и загрязнения представляет важнейшую народнохозяйственную задачу.

Выбор природного источника для водоснабжения населенного места или промышленного предприятия осуществляется после проведения тщательных изысканий и технико-экономического обоснования. При этом естественно принимаются во внимание и количественные, и качественные характеристики источника, т. е. его гарантированный дебит и показатели основных качеств воды, важных для потребителя данного типа.

Однако в результате различных природных явлений, а также хозяйственной деятельности людей уже в процессе эксплуатации выбранного источника его характеристики могут измениться: может снизиться его дебит и ухудшиться качество воды.

Перевод на новый источник всякого объекта при уже имеющейся и работающей системе его водоснабжения обычно бывает крайне затруднителен и дорог (а иногда и практически неосуществим). Поэтому весьма важным является систематическое проведение мероприятий, которые охраняли бы источники от истощения (снижения дебита) и загрязнения.

Принятый в 1971 г. Верховным Советом СССР закон об основах водного законодательства предусматривает необходимый порядок и правила использования и охраны природных источников нашей страны.

Мероприятия по охране источников охватывают широкий круг вопросов. Некоторые из них распространяются на данный природный источник в целом и затрагивают различные области хозяйственной деятельности человека и различные природные явления, влияющие на этот источник. Некоторые же мероприятия должны осуществляться в процессе нормальной эксплуатации источника для снабжения данного объекта. Последние мероприятия предусматриваются преимущественно для систем водоснабжения населенных мест и осуществляются путем организации так называемых зон санитарной охраны.

§ 76. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИХ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Как известно, в результате сброса неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод промышленных предприятий и городской канализации многие водоемы во многих странах настолько загрязнены, что использование их для водоснабжения становится затруднительным или вообще практически невозможным. В такое состояние приведены даже некоторые мощные реки. Сброс сточных вод является основной причиной продолжающегося загрязнения природных водоемов.

В СССР использование водоемов для сброса сточных вод допускается только при соблюдении специальных требований и условий, предусмотренных законодательством СССР и союзных республик.

Сброс производственных, бытовых, дренажных и других сточных вод в водоемы может производиться только с разрешения органов, осуществляющих охрану вод, по согласованию с государственным санитарным надзором. Качество сбрасываемых сточных вод должно отвечать установленным нормативам.

Если эти требования нарушаются, сброс сточных вод должен быть ограничен, приостановлен или запрещен органами контроля, хотя бы это вызвало прекращение работы предприятий или цехов, сбрасывающих стоки.

Право на запрещение сброса сточных вод, содержащих вредные для здоровья вещества, имеет государственный санитарный надзор.

Сброс сточных вод не должен приводить к увеличению содержания в воде водоема загрязняющих веществ сверх установленных норм.

В качестве мероприятий по предотвращению сброса в водоемы производственных стоков у нас и за рубежом все шире используются системы оборотного водоснабжения и последовательного использования воды (в пределе можно достигнуть полностью замкнутого цикла водоиспользования), применяются технологические процессы, не требующие больших количеств воды или «безводные» (например, при замене водяного охлаждения воздушным), и т. д. Начинает входить в практику доочистка бытовых стоков для повторного использования их в промышленности вместо свежей воды. Получают дальнейшее развитие методы глубокой очистки стоков для удаления из них вредных веществ, а также для задержания и утилизации веществ, сбрасываемых со сточными водами. Практикуется сброс некоторых доочищенных стоков для подпитки подземных водоносных слоев (при этом фильтрация через грунт значительно повышает степень их дополнительной очистки).

Все указанные мероприятия могут оказать значительное влияние на сохранение чистоты водоемов. Для этого необходима организация контроля за их выполнением и строгая ответственность за нарушение правил водного законодательства.

§ 77. ОБЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ ОТ ИСТОЩЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Основы водного законодательства СССР предусматривают охрану природных вод, имея в виду интересы не только водоснабжения, но также интересы рыбного хозяйства, водного транспорта, орошения, спорта, охоты, лечебные цели и т. д.

Водное законодательство предусматривает охрану водоемов и наиболее рациональное комплексное использование их различными потребителями путем взаимной увязки их интересов и потребностей, а также соответствующую организацию эксплуатации природных водоемов.

Существенным мероприятием по борьбе с истощением водоемов является регулирование и рационализация лесного хозяйства на площадях водосборных бассейнов и, в частности, запрещение (сокращение) вырубки лесов в верховьях рек и их притоков.

Большое значение имеет проведение противоэрозионных мероприятий. Кроме общеизвестных бедствий, которые эрозия почв причиняет сельскому хозяйству, она способствует значительному заилению водоемов. Особенно интенсивно в результате эрозии заиляются водохранилища. Процесс эрозии влияет и на режим стока рек. Снижение полезного грунтового стока, обусловленное эрозией, ведет к усилению паводков и снижению меженных расходов, что является весьма неблагоприятным для водопользователей.

В СССР проводятся эффективные мероприятия по борьбе с эрозией почв, осуществляются агротехнические мероприятия в системе сельского хозяйства по задержанию поверхностного стока, предусматриваются защитные лесонасаждения для закрепления склонов и т. п.

Загрязнение природных водоемов происходит не только в результате сброса сточных вод, но и в результате других видов хозяйственной деятельности людей. На водоемах, используемых для целей водоснабжения, запрещается молевой сплав леса. Серьезное загрязнение водоемов может иметь место в результате утечки нефтепродуктов, масел и т. п., перевозимых водным транспортом, или аварий нефтеналивных судов и неорганизованного сброса судами всех видов загрязнений. Поступление в водоемы вредных для здоровья людей веществ может происходить в результате смыва с полей различных удобрений и ядохимикатов. Для предотвращения отмеченных загрязнений должны применяться соответствующие охранные мероприятия.

Как указывалось, водное законодательство уделяет особое внимание первоочередному удовлетворению питьевых и бытовых потребностей населения в воде доброкачественных источников. В соответствии с этим подземные источники воды в первую очередь должны использоваться для водоснабжения населенных мест. Для производственных целей они могут быть использованы только при условии, что это не идет в ущерб хозяйственно-питьевому водопотреблению.

§ 78. ОРГАНИЗАЦИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДОПРИЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Санитарная охрана источников питьевого водоснабжения осуществляется путем организации на водосборных бассейнах зон санитарной охраны. Органами Государственного санитарного надзора утверждено «Положение о проектировании зон санитарной охраны централизованного водоснабжения и водных источников», обязательное для всех ор-

ганизаций, проектирующих и строящих системы водоснабжения, и для всех водопроводных предприятий.

Зона санитарной охраны поверхностного источника водоснабжения представляет собой специально выделенную территорию, охватывающую используемый водоем и частично бассейн его питания. На этой территории устанавливается режим, обеспечивающий надежную защиту источника водоснабжения от загрязнения и сохранение требуемых санитарных качеств воды.

Проект зоны санитарной охраны составляет неотъемлемую часть каждого проекта водоснабжения, без которой он не может быть утвержден. Проект должен содержать установление границ зоны санитарной охраны и перечень мероприятий по санитарному оздоровлению территории зоны. Составление проекта зоны санитарной охраны производится на базе тщательных изысканий на местности, позволяющих выявить источники питания используемых водоемов и возможные источники их загрязнения. Проект зоны санитарной охраны согласовывается с органами Государственного санитарного надзора и утверждается теми же организациями, которые утверждают проект системы водоснабжения.

Зона санитарной охраны включает в себя два пояса.

Первый пояс (пояс строгого режима) охватывает часть используемого водоема в месте забора воды из него и территорию расположения головных водопроводных сооружений (водоприемники, насосные и очистные станции, резервуары). Территория первого пояса изолируется от доступа посторонних лиц и по возможности окружается зелеными насаждениями. Постоянное проживание людей в первой зоне, как правило, не допускается.

Второй пояс санитарной охраны включает источник водоснабжения (водоем) и бассейн его питания, т. е. все территории и акватории, которые могут оказать влияние на качество воды источника, используемого для водоснабжения. Территория второго пояса определяется в основном соответствующими водоразделами.

Для крупных и средних рек не представляется возможным включить в зону санитарной охраны весь водосборный бассейн, и граница зоны определяется расстоянием (вверх по течению) от места водозабора, достаточным для самоочищения реки от сбрасываемых в нее загрязнений.

В пределах второго пояса зоны санитарной охраны должен быть обеспечен ряд оздоровительных мероприятий и введен ряд ограничений в хозяйственную деятельность с целью защиты источника водоснабжения от недопустимого ухудшения качества воды в нем.

При определении требуемых мероприятий должны учитываться характер используемого водоема, его способность к самоочищению, а также все существующие и возможные источники прямого и косвенного загрязнения водоема.

Проекты зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения составляются после проведения специальных изысканий на местности, имеющих целью выяснить гидрогеологические условия района — направление и скорость подземного потока, условия и районы его питания, возможные источники загрязнения подземных вод, наличие нарушений почвенных слоев и т. д.

При использовании подземных вод зона санитарной охраны также разделяется на два пояса.

Первый пояс охватывает территорию, на которой располагаются водосборные колодцы или скважины (с учетом перспективы развития водопровода) и связанные с ними насосные станции, установки для об-

работки воды и резервуары. Границы первого пояса зоны санитарной охраны устанавливаются с учетом характера рельефа местности и направления грунтового потока. Размер территории первого пояса определяют исходя из необходимости иметь для приема грунтовых вод вокруг артезианской скважины площадь порядка 0,25 га и вокруг колодцев площадь около 0,7—1 га. Территория первого пояса должна быть спланирована для возможности отвода поверхностного стока за пределы границ зоны. Так же как и для поверхностных вод, в первом поясе зоны санитарной охраны подземных вод не допускается проживание людей, нахождение посторонних лиц, содержание скота, а также употребление органических удобрений или ядохимикатов для посадок и посевов.

Второй пояс (зона ограничений) представляет собой территорию, для которой вводятся определенные ограничения ее использования с тем, чтобы предотвратить возможность загрязнения эксплуатируемого водоносного пласта. Границы второго пояса устанавливаются в зависимости от местных гидрогеологических условий и характера использования подземного потока. На территории второго пояса должны проводиться следующие предупредительные мероприятия: выявление и тампонаж старых и неработающих скважин, приведение в порядок дефектных скважин, выявление и ликвидация имеющихся поглощающих колодцев, благоустройство населенных мест, расположенных на территории зоны, с целью защиты используемого водоносного пласта от поступлений всевозможных загрязнений с поверхности. Во втором поясе зоны санитарной охраны не допускаются какие-либо работы, связанные с нарушением пород, перекрывающих сверху используемый водоносный пласт.

Проведение всех мероприятий по организации второго пояса зоны санитарной охраны, предусмотренных утвержденным проектом (как для поверхностных, так и для подземных источников), осуществляют те предприятия, учреждения или организации, которые используют данную территорию, а также те, деятельность которых вызвала санитарное неблагополучие.

Территория, на которой располагаются головные водопроводные сооружения (водоприемники, насосные станции, сооружения для очистки воды и т. п.), передается местными Советами депутатов трудящихся в ведение водопроводного предприятия. Обычно вся территория первого пояса зоны санитарной охраны находится в непосредственном ведении водопроводного предприятия, которое и обеспечивает на этой территории предусмотренный проектом санитарный режим.

Контроль за содержанием зон санитарной охраны осуществляется органами Государственного санитарного надзора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бондарь Ф. И, Ереснов Н. В., Семенов С. И., Суров И. Е. Специальные водозаборные сооружения. М., Стройиздат, 1963.

Бочевер Ф. М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1968.

Госстрой СССР. Указания по проектированию сооружений для забора подземных вод. (СН 325-65) М., Стройиздат, 1966.

Образовский А. С. (ВНИИ ВОДГЕО). Гидравлика водоприемных ковшей. М., Госстройиздат, 1962.

Глава 16

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЕЕ ОБРАБОТКИ

Качество воды природных источников, так же как и требования, которые предъявляются к качеству воды, используемой различными потребителями, весьма разнообразны. Оценка качества воды природного источника с точки зрения требований потребителей позволяет решить вопрос о возможности его использования для данного объекта, а также установить необходимость и характер обработки воды на водопроводных очистных сооружениях.

Путем анализа воды природных источников выясняется наличие в ней различных веществ и микроорганизмов. Для получения правильной характеристики воды данного источника отбор проб и анализы должны производиться в течение достаточно длительного периода времени, чтобы можно было учесть сезонные изменения качества воды.

Физико-химические свойства воды, характер содержащихся в ней примесей, а также методика производства анализов воды детально изучаются в специальном курсе химии воды. Здесь приводится лишь краткий перечень тех качественных характеристик воды, которые непосредственно используются при изучении вопросов технологии ее очистки.

Характер и объем мероприятий по очистке воды, очевидно, должен быть выбран в результате сопоставления качественных характеристик воды данного источника с теми требованиями, которые предъявляют потребители к качеству воды. Требования к качеству воды, подаваемой для питьевых нужд населения, установлены ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая». Требования к качеству воды, используемой для различных производственных нужд, устанавливаются различными ведомственными нормами и техническими условиями.

§ 79. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ И СОПОСТАВЛЕНИЕ ИХ С НОРМАТИВНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К КАЧЕСТВУ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ВОДЫ

Качество воды определяется наличием в ней различных веществ неорганического и органического происхождения, а также микроорганизмов. Примеси могут содержаться в воде в различном состоянии: а) во взвешенном — в виде отдельных частиц (грубодисперсная взвесь); б) в коллоидном; в) в растворенном.

Рассмотрим основные свойства воды природных источников, указывая попутно их значение для различных потребителей и требования к отдельным качественным характеристикам воды.

Содержание взвешенных веществ. Мутность. Количественное содержание взвешенных веществ в воде может быть определено или непосредственно — весовым способом, или косвенно — путем определения мутности (или прозрачности) воды.

Мутность воды обусловливается наличием в ней различного рода механических примесей, находящихся во взвешенном состоянии: частиц

песка, глины, илистых частиц органического происхождения и др. Мутность обычно свойственна воде поверхностных источников и главным образом рек. От характера грунта дна и берегов рек и от скорости течения воды зависит степень вымывания частиц грунта, увлекаемых водой. Чем меньше размеры частиц грунта, тем большее количество их несет река. Чем больше скорость течения, тем больших размеров частицы могут увлекаться водой. При определенной скорости течения воды частицы эти поддерживаются во взвешенном состоянии и придают воде мутность.

Мутность воды определяют специальными приборами — мутномерами.

В настоящее время для определения мутности стали применять приборы, основанные на действии фотоэлементов, — нефелометры.

Прозрачность воды измеряют в стеклянном цилиндре или стеклянной трубке с сантиметровой шкалой. При этом определяют толщину слоя воды (в см), через который еще виден нанесенный черной краской на белой пластинке условный знак в виде двух крестообразно расположенных линий толщиной 1 мм (крест) или специальный стандартный шрифт. Таким образом, прозрачность измеряется в см вод. ст.

Содержание взвешенных веществ в речной воде (а следовательно, ее мутность и прозрачность) меняется в течение года, возрастая в период дождей и доходя до максимума в период паводков. Наименьшая мутность (наибольшая прозрачность) речной воды наблюдается обычно в зимнее время, когда река покрыта льдом. В озерах и искусственных водохранилищах мутность, как правило, незначительна и обусловливается поступлением мутной воды из рек, питающих данные водоемы, а также поверхностных стоков с их берегов. В больших водоемах замутнение воды происходит в результате взмучивания осадков со дна при волнении в ветреную погоду.

Мутность некоторых рек достигает весьма значительной величины (до нескольких тысяч мг/л).

В СССР повышенной мутностью отличаются реки южных районов, в частности реки среднеазиатских республик. Реки средней и северной частей СССР и многие реки Сибири имеют значительно меньшую мутность. Водам подземных источников, как правило, свойственна большая прозрачность.

Использование мутной воды (без ее предварительного осветления) для некоторых категорий потребителей нежелательно или даже недопустимо.

Требования к качеству воды, подаваемой водопроводами для хозяйственно-питьевых нужд, регламентируются государственными стандартами. Согласно ГОСТ 2874—73, количество взвешенных веществ в воде, подаваемой для хозяйственно-питьевых целей централизованными водопроводами, не должно быть более 1,5 мг/л.

Многие производственные потребители могут использовать воду с содержанием взвешенных веществ более высоким по сравнению с допускаемым для питьевой воды. Однако для ряда производственных потребителей использование мутной воды нежелательно. Так, использование воды, содержащей механические примеси, для охлаждения влечет за собой в некоторых случаях быстрое засорение охлаждающей аппаратуры. Допускаемое содержание взвеси в охлаждающей воде зависит от типа этой аппаратуры.

Цветность. Желтоватый, коричневый или желто-зеленый оттенки воды природных источников объясняются главным образом присутствием в воде гумусовых веществ.

Цветность свойственна воде рек, питающихся частично болотной водой, а иногда и воде водохранилищ. Измеряется цветность в градусах по так называемой платино-кобальтовой шкале путем сравнения исследуемой воды с водой, имеющей эталонную цветность.

Цветность питьевой воды, подаваемой водопроводом, не должна превышать 20 град. В исключительных случаях, по согласованию с органами санитарного надзора, может быть допущена цветность воды до 35 град.

Использование воды со значительной цветностью на тех предприятиях, где происходит непосредственное соприкосновение воды с фабрикатами в процессе их изготовления (например, в текстильной промышленности), может вызвать ухудшение качества продукции.

Запахи и привкусы воды. Наличие запахов и привкусов у воды природных источников обусловливается присутствием в ней растворенных газов, различных минеральных солей, а также органических веществ и микроорганизмов. Запах и привкус имеют болотные и торфяные воды, а также воды, содержащие сероводород; в ряде случаев запах обусловливается присутствием в воде живых или гниющих после отмирания водорослей. Неприятный запах имеет вода после хлорирования при наличии в ней некоторых количеств остаточного хлора. Интенсивность запаха, как правило, увеличивается с повышением температуры воды.

Привкус солоноватый и даже горько-солоноватый часто имеют сильно минерализованные воды подземных источников.

Для количественной оценки запаха и привкуса воды применяют обычно условную пятибалльную шкалу. Следует, однако, отметить, что эта оценка в значительной мере субъективна, так как зависит от индивидуальной восприимчивости исследователя.

Согласно ГОСТ 2874—73, питьевая вода при температуре ее 20° С и при ее подогревании до 60° С не должна иметь запах более 2 баллов и привкус (при 20° С) более 2 баллов.

В большинстве случаев при использовании воды для производственных целей запах и вкус воды сами по себе несущественны. Однако наличие их может указывать на присутствие в воде нежелательных примесей.

Температура воды. Температура воды поверхностных источников колеблется в течение года в весьма широких пределах (для территории СССР — от близкой к нулю до 25° С, а иногда и выше). Воды подземные, в особенности артезианские, имеют почти постоянную температуру в течение года.

Для питьевых целей наиболее желательно использование воды температурой 7—12° С.

Для некоторых производственных потребителей температура воды источника имеет большое значение. Так, низкая температура весьма желательна для воды, идущей на охлаждение или на конденсацию пара, так как она позволяет уменьшить количество расходуемой воды.

Жесткость воды. Жесткость воды обусловливается содержанием в ней солей кальция и магния.

Различают карбонатную жесткость, обусловливаемую наличием в воде двууглекислых солей кальция и магния, и некарбонатную, при которой в воде содержатся другие соли Ca и Mg (сульфаты, хлориды, нитраты и др.).

Суммарная жесткость воды называется общей жесткостью. Вода разных природных источников имеет весьма различную жесткость. Речная вода, за некоторыми исключениями, обладает относительно неболь-

шой жесткостью. Так, вода Волги (у г. Куйбышева) имеет жесткость 4,5—6 мг-экв/л, жесткость воды Москвы-реки колеблется в течение года от 2 до 5 мг-экв/л. Весьма малую жесткость имеет вода Невы (около 0,7 мг-экв/л). Вместе с тем вода рек, прорезающих толщу известковых и гипсовых пород, часто отличается весьма большой жесткостью. Жесткость речной воды обычно меняется в течение года, снижаясь до минимального значения в период паводков. Воды подземных источников в большинстве случаев имеют более значительную жесткость, чем поверхностные воды.

Для питья может использоваться относительно жесткая вода, так как наличие в воде солей жесткости не вредно для здоровья и обычно не ухудшает ее вкусовых качеств. Однако использование воды с большой жесткостью для хозяйственных целей вызывает ряд неудобств: образуется накипь на стенках варочных котлов и кипятильников, увеличивается расход мыла при стирке, медленно развариваются мясо и овощи и т. д. Поэтому общая жесткость воды, подаваемой водопроводами для хозяйственно-питьевых нужд, согласно ГОСТ 2874—73, не должна превышать 10 мг-экв/л.

Использование жесткой воды для производственных целей во многих случаях не может быть допущено, так как связано с рядом нежелательных последствий. Применение жесткой воды не допускается для питания паровых котлов, а также для ряда производств (для некоторых отраслей текстильной и бумажной промышленности, предприятий искусственного волокна и др.).

Значительная карбонатная жесткость не допускается для систем оборотного водоснабжения.

Содержание газов. В воде природных источников наблюдается чаще всего присутствие следующих газов: кислорода O_2, углекислоты CO_2 и сероводорода H_2S.

Содержание кислорода и углекислоты даже в значительных количествах не ухудшает качества питьевой воды, но способствует коррозии металлических стенок труб, резервуаров, котлов. Процесс коррозии усиливается с повышением температуры воды, а также при движении ее вдоль металлических стенок (например, по трубам). При значительном содержании в воде агрессивной углекислоты коррозии подвергаются также стенки бетонных труб и резервуаров. В питательной воде паровых котлов среднего и высокого давления присутствие кислорода не допускается.

Содержание сероводорода придает воде неприятный запах и, кроме того, вызывает коррозию металлических стенок труб, баков и котлов. В связи с этим присутствие H_2S не допускается в воде, употребляемой для хозяйственно-питьевых и для большинства производственных нужд.

Содержание соединений железа. Железо довольно часто встречается в воде подземных источников, в основном в форме растворенного двухвалентного железа. Иногда железо содержится и в поверхностных водах — в форме комплексных соединений, коллоидов или тонкодисперсной взвеси.

Наличие железа в водопроводной воде может придавать ей плохой вкус, вызывает отложение осадка и зарастание водопроводных труб. При использовании такой воды для стирки белья на нем остаются пятна.

Согласно ГОСТ 2874—73, в воде, подаваемой централизованными системами хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержание железа допускается в количестве не более 0,3 мг/л. При использовании подземных вод в исключительных случаях по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы в воде, подаваемой в водопроводную

сеть, может быть допущено содержание железа в количестве до 1 мг/л. На многих промышленных предприятиях, где вода употребляется для промывки фабриката в период его изготовления, в частности в текстильной промышленности, даже невысокое содержание железа в воде ведет к браку продукции.

Содержание азотистых соединений. Наличие азотсодержащих соединений — нитратов (NO_3^-), нитритов (NO_2^-) и аммонийных солей (NH_4^+) — в воде поверхностных источников или в подземных водах может обусловливаться загрязнением этих вод сточными водами. При этом наличие аммонийных соединений указывает на свежее загрязнение, а наличие нитритов — на относительно недавнее загрязнение. Содержание в воде нитратов может указывать на давнее (уже ликвидированное) загрязнение источника сточными водами.

Однако нитраты, обнаруженные в водах источника, могут быть и неорганического происхождения и не свидетельствовать о загрязнении источника.

По ГОСТ 2874—73 в питьевой воде допускается содержание нитратов (по N) не более 10 мг/л.

Содержание сульфатов и хлоридов. Сульфаты — соли серной кислоты. Сульфаты кальция и магния образуют соли некарбонатной жесткости; сульфат натрия, содержащийся в больших дозах, вреден для желудка.

Хлориды — соли соляной кислоты. Хлорид кальция $CaCl_2$ обусловливает некарбонатную жесткость воды. Хлорид натрия NaCl содержится в значительных количествах в воде морей, а также некоторых озер и подземных источников. По ГОСТ 2874—73 предельно допустимое содержание в воде сульфатов (SO_4^{2-}) — 500 мг/л и хлоридов (Cl^-) —350 мг/л.

Содержание кремнекислоты. Кремнекислота встречается в воде как подземных, так и поверхностных источников в различной форме (от коллоидной до ионнодисперсной). Воды, содержащие кремнекислоту, не могут быть использованы для питания котлов высокого давления, так как образуют силикатную накипь на их стенках.

Содержание фтора. Согласно требованиям ГОСТ 2874—73, содержание фтора в питьевой воде должно поддерживаться в пределах 0,7—1,2 мг/л (в зависимости от климатических условий).

Содержание растворенных веществ (сухой остаток). Общее количество веществ (кроме газов), содержащихся в воде в растворенном или коллоидном состоянии, характеризуется сухим остатком, получаемым в результате выпаривания профильтрованной воды и высушивания задержанного остатка до постоянной массы. В воде источника, используемого для хозяйственно-питьевых целей, сухой остаток не должен превышать 1000 мг/л и в особых случаях 1500 мг/л.

Величина сухого остатка лимитируется также в воде, идущей для питания паровых котлов и используемой в ряде производств (синтетического каучука, искусственного волокна, кинопленки и др.).

Активная реакция воды. Активная реакция воды характеризуется показателем концентрации в ней водородных ионов (pH). При нейтральной реакции pH=7; при кислой реакции pH<7, при щелочной реакции pH>7.

Согласно ГОСТ 2874—73, вода, подаваемая хозяйственно-питьевым водопроводом, должна иметь pH в пределах 6,5—9,5. Для вод большинства природных источников значение pH не выходит из указанных пределов.

Для правильной оценки качества воды, действия ее на водопроводные сооружения и выбора метода ее очистки необходимо знать значение

pH воды источника в различные периоды года. При низких значениях pH, т. е. при кислой реакции воды, сильно возрастает ее корродирующее действие по отношению к стали и бетону.

Бактериальная загрязненность воды. Общая бактериальная загрязненность воды характеризуется количеством бактерий, содержащихся в 1 мл воды. Согласно ГОСТ 2874—73, питьевая вода не должна содержать более 100 бактерий в 1 мл (при стандартном методе исследования).

Особую важность для санитарной оценки воды имеет определение наличия в ней бактерий группы кишечной палочки. Присутствие кишечной палочки свидетельствует о загрязнении воды фекальными стоками и, следовательно, о возможности попадания в нее болезнетворных бактерий, в частности бактерий брюшного тифа. Путем бактериологического анализа воды определяют число кишечных палочек в 1 л воды (так называемый коли-индекс) или тот наименьший объем воды, в котором еще обнаруживается кишечная палочка (коли-титр).

Воды некоторых поверхностных источников бывают весьма загрязнены в бактериальном отношении.

Согласно требованиям стандарта, в питьевой воде, подаваемой в сеть хозяйственно-питьевых водопроводов, может содержаться не более трех кишечных палочек в 1 л.

В большинстве производств бактериальное загрязнение воды не препятствует ее использованию для технических целей. Исключение составляют предприятия пищевой промышленности, для которых требуется вода питьевого качества.

Здесь перечислены лишь основные свойства воды природных источников. В практике использования воды водоемов для различных потребителей приходится встречаться еще с целым рядом специфических свойств воды. Например, согласно требованиям ГОСТ 2874—73, питьевая вода, подаваемая водопроводом, не должна содержать более 0,05 мг/л мышьяка, 1 мг/л меди, 5 мг/л цинка и 0 ,1 мг/л свинца.

Следует отметить, что данных, получаемых в результате обычных физико-химических и бактериологических анализов природной воды, еще недостаточно для проектирования очистных сооружений. По этим данным невозможно определить расчетные параметры технологического процесса очистки воды (требуемые дозы химических реагентов, скорость процесса на отдельных его этапах, продолжительность обработки воды в отдельных сооружениях и т. п.), а в ряде случаев и выбрать технологическую схему очистки. Поэтому исследуемую воду необходимо подвергать специальному технологическому анализу, который дает дополнительные данные для возможности выбора наиболее надежного и экономичного метода ее очистки и проектирования соответствующих очистных сооружений.

Поверхностные источники характеризуются большими колебаниями качества воды и количества загрязнений в отдельные периоды года. Качество воды рек и озер в большой степени зависит от интенсивности выпадения атмосферных осадков, таяния снега, а также от загрязнения ее поверхностными стоками и сточными водами городов и промышленных предприятий.

Речная вода обычно характеризуется значительным содержанием взвешенных веществ, т. е. мутностью, часто цветностью, малым содержанием солей, относительно малой жесткостью, наличием большого количества органических веществ, относительно высокой окисляемостью и значительным содержанием бактерий. Сезонные колебания качества речной воды нередко бывают весьма резкими. В период паводков, как казывалось ранее, сильно возрастает мутность и бактериаль-

ная загрязненность воды, но обычно снижается ее жесткость (щелочность и солесодержание). Сезонные изменения качества воды в значительной степени влияют на характер работы очистных сооружений водопровода в отдельные периоды года. Характерной особенностью речной воды является ее способность к самоочищению. Она выражается в том, что в результате ряда естественных биохимических процессов, протекающих в речной воде, концентрация загрязнений от поступающих в нее стоков постепенно уменьшается.

Морская вода (особенно вода океанов) отличается весьма высоким содержанием солей. Сухой остаток колеблется в пределах 3,3—3,6% массы воды. Общая жесткость ее достигает 140 мг-экв/л; при этом только около 4 мг-экв/л приходится на долю карбонатной жесткости. Морская вода в большой мере обладает коррозионным действием.

Воды подземных источников, особенно глубоко залегающие артезианские воды, характеризуются большой прозрачностью, отсутствием цветности, значительным содержанием различных минеральных солей (большой жесткостью и иногда наличием железа, марганца и др.). Санитарное состояние подземных вод, если они защищены водонепроницаемым слоем от проникания стоков с поверхности земли, бывает иногда настолько хорошим, что эти воды можно без какой-либо очистки подавать в сеть питьевых водопроводов.

§ 80. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Изучение качества воды природного источника позволяет установить характер необходимых операций по ее обработке. В некоторых случаях на очистные сооружения возлагается задача устранения какого-либо определенного недостатка природной воды или целого комплекса недостатков, а иногда — задача искусственного придания воде новых свойств, требуемых потребителем.

Все разнообразные задачи, возлагаемые на очистные сооружения, могут быть сведены к следующим основным группам:

1) удаление из воды содержащихся в ней взвешенных веществ (нерастворимых примесей), что обусловливает снижение ее мутности; этот процесс носит название осветления воды;

2) устранение веществ, обусловливающих цветность воды, — обесцвечивание воды;

3) уничтожение содержащихся в воде бактерий (в том числе болезнетворных) — обеззараживание воды;

4) удаление из воды катионов кальция и магния — умягчение воды; снижение общего солесодержания в воде — обессоливание воды; частичное обессоливание воды до остаточной концентрации солей не более 1000 мг/л носит название опреснения воды.

В некоторых случаях может производиться удаление отдельных видов солей (обескремнивание, обезжелезивание и т. п.).

Степень необходимой глубины осветления, обесцвечивания, обессоливания воды зависит от характера ее использования.

На очистные сооружения могут быть возложены также отдельные специальные задачи — удаление растворенных в воде газов (дегазация), устранение запахов и привкусов природной воды и др.

В некоторых случаях (в соответствии с требованиями производственных потребителей, условиями эксплуатации водопроводов или для успешного проведения операций по самой очистке воды) необходима спе-

циальная обработка воды для достижения требуемого значения pH, придания воде свойств стабильности и т. п.

Часть операций по обработке воды может быть отнесена к процессам собственно очистки воды: устранение мутности, цветности, удаление планктона, бактерий и избыточного количества растворенных солей. Но такие операции, как стабилизация воды, поддержание требуемого значения pH и т. п., имеющие целью придание воде свойств, необходимых для предотвращения коррозии трубопроводов, успешного протекания коагулирования воды и т. п., уже не могут быть отнесены к процессам очистки воды. Таким образом, понятие «обработка» воды является более общим, чем понятие «очистка» воды. Очистка воды — это частный случай ее обработки.

Как было сказано, для отдельных видов потребителей очистные сооружения должны решать комплексно несколько из указанных задач. Например, в хозяйственно-питьевых водопроводах, использующих речную воду, на очистные сооружения возложены задачи осветления, обесцвечивания, устранения запахов и привкусов воды, а иногда одновременно и ее умягчения.

Решение всех поставленных перед очистными сооружениями задач может проводиться путем использования различных технологических приемов. Так, осветление воды может быть достигнуто путем отстаивания и фильтрования ее. Причем отстаивание может быть простым механическим, когда очищаемая вода проходит через специальные бассейны (отстойники) с весьма малой скоростью. Время осаждения взвешенных частиц зависит от их размеров. Чем мельче частицы, тем больше времени потребуется для их осаждения. При этом коллоидные частицы могут находиться во взвешенном состоянии неопределенно долгое время. Для их осаждения, а также вообще для ускорения процесса осаждения взвеси применяют коагулирование. В воду, подлежащую осветлению, вводят химические реагенты (коагулянты), способствующие связыванию частиц, обусловливающих мутность, в крупные хлопья, что ускоряет их выпадение в отстойниках.

В ряде случаев воду для глубокого осветления после отстойников направляют на фильтры, где она дополнительно осветляется, проходя через слои фильтрующего материала. Такая двухступенчатая система осветления широко применяется при очистке речной воды, используемой для питьевого водоснабжения.

Для задержания находящихся в воде взвешенных веществ применяют также специальный метод осветления, при котором вода после коагулирования пропускается через слой взвешенных хлопьев (выпадающих в результате в осадок). Коагулирование одновременно способствует повышению эффективности процесса фильтрования воды.

Коагулирование воды с последующим ее отстаиванием и фильтрованием позволяет осуществить также и обесцвечивание воды.

Для некоторых производств, не требующих прозрачной воды, оказывается достаточным освобождение ее лишь от наиболее крупных взвешенных частиц, а также плавающих предметов. В этих случаях применяют грубую механическую очистку воды — процеживание, большей частью осуществляемое в водоприемных сооружениях, где для этой цели устанавливаются решетки и сетки (см. раздел IV).

Попутно с осветлением вода при коагулировании и фильтровании в значительной степени освобождается от бактерий, благодаря чему повышается ее качество с санитарной точки зрения.

Специальной операцией по уничтожению содержащихся в воде бактерий, в частности болезнетворных, является обеззараживание (дезин-

фекция) воды. Для обеззараживания применяют хлорирование или озонирование, а также бактерицидное облучение воды.

Для улучшения качества воды применяют также и другие операции: умягчение, обессоливание, дегазацию и др.

Далее детально рассматриваются процессы очистки воды, типы сооружений, необходимых для их осуществления, и схемы очистных станций.

§ 81. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КОМПЛЕКСА ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Очистные сооружения являются одним из составных элементов системы водоснабжения и тесно связаны с ее остальными элементами.

Вопрос о месте расположения очистной станции решается при выборе схемы водоснабжения объекта. Часто очистные сооружения располагают вблизи источника водоснабжения и, следовательно, в незначительном удалении от насосной станции первого подъема.

Наибольшее распространение в практике водоочистки (особенно в городских водопроводах) имеют схемы очистных сооружений с самотечным движением воды. Вода, поданная насосами станции первого подъема, самотеком проходит последовательно все очистные сооруже-

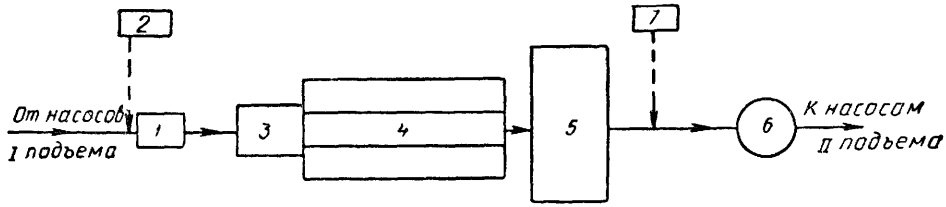


Рис. V.1

ния и поступает в сборный резервуар (резервуар чистой воды), из которого забирается насосами станции второго подъема. Таким образом, резервуар чистой воды непосредственно связан с комплексом очистных сооружений и должен быть расположен вблизи от них, так же как и насосная станция второго подъема.

Решению вопроса о компоновке очистных сооружений должны предшествовать выбор схемы технологического процесса очистки воды, а также установление типа, числа и размеров отдельных сооружений (отстойников, фильтров и др.). Этот выбор производится на основе результатов технологических анализов воды источника и в зависимости от требований потребителей к качеству воды. Выбор схемы очистки воды, типа сооружений и их компоновки должен быть сделан на основании технико-экономических сравнений возможных вариантов.

Очистные станции водопроводов населенных мест могут осуществляться по одноступенчатым или двухступенчатым схемам (в зависимости от качества воды источника).

На рис. V.1 в качестве примера показано взаимное расположение отдельных сооружений станции осветления и обеззараживания воды, подаваемой для хозяйственно-питьевых целей, осуществленной по двухступенчатой схеме. В данном случае процесс очистки воды включает следующие операции: коагулирование воды, осветление ее в горизонтальных отстойниках, фильтрование и обеззараживание при помощи хлорирования. Вода, подаваемая насосной станцией первого подъема, посту-

пает прежде всего в смеситель *1*, куда вводится раствор реагентов (заготовляемых в помещении реагентного хозяйства *2*), необходимых для коагулирования, и где происходит их смешение с водой. Из смесителя вода поступает в камеру хлопьеобразования *3*, где происходит формирование хлопьев коагулянта, и затем проходит последовательно через горизонтальные отстойники *4* и фильтры *5*. Пройдя фильтры, осветленная вода поступает в резервуар чистой воды *6*. В трубу, подающую в него воду, вводится хлор из хлораторной *7*. Необходимый для обеззараживания воды контакт ее с хлором обеспечивается в резервуаре *6*.

В некоторых случаях хлор в воду подают дважды: перед смесителем (первичное хлорирование) и после фильтров (вторичное хлорирование).

Сооружения для коагулирования и осветления воды одновременно осуществляют и обесцвечивание воды.

Представленная схема может рассматриваться как общая принципиальная схема очистных сооружений для речной воды, подаваемой в хозяйственно-питьевые водопроводы.

Вместо горизонтальных отстойников *4* могут быть использованы вертикальные отстойники со встроенными в них камерами хлопьеобразования или осветлителя (со взвешенным осадком); в последнем случае отпадает элемент *3*.

При одноступенчатой схеме очистки воды ее осветление осуществляется на фильтрах или в контактных осветлителях (без использования отстойников).

Для схемы с самотечным движением воды в очистных сооружениях следует наиболее целесообразно использовать рельеф местности в целях уменьшения строительной стоимости их (путем уменьшения требуемого заглубления отдельных сооружений и, следовательно, объема земляных работ, снижения стоимости фундаментов и т. п.). Поэтому при проектировании очистных сооружений предварительно составляют так называемую «высотную схему станции», уточняемую в дальнейшем. Высотная схема устанавливает взаимосвязь между уровнями воды и характерными отметками отдельных элементов очистной станции. Схему составляют, задавшись отметкой наивысшего уровня в резервуаре чистой воды. Приближенно принимая обычные (по опыту) потери напора в отдельных сооружениях и в соединяющих их трубах, вычисляют требуемые отметки уровней воды в остальных сооружениях.

В отдельных случаях приведенная основная схема очистных сооружений хозяйственно-питьевых водопроводов может быть дополнена устройствами для устранения запахов и привкусов воды, для ее умягчения и др.

Схемы обработки подземных вод для хозяйственно-питьевых водопроводов в ряде случаев более просты, так как включают лишь сооружения для обеззараживания воды. При использовании подземных вод большой жесткости или содержащих железо схемы их обработки включают сооружения для умягчения или обезжелезивания воды.

Схемы очистки и обработки воды для нужд производства весьма разнообразны, как и требования к качеству воды, предъявляемые различными производственными потребителями. Для ряда потребителей эти схемы весьма просты, как, например, схемы грубого осветления воды. Некоторые же производственные потребители требуют воду такого качества, какой вообще нет в природных источниках. В этих случаях приходится применять сложные схемы, предусматривающие использование различных физических и химических методов обработки природной воды для придания ей требуемых качеств.

Некоторые виды обработки воды допускают использование схемы подачи воды через очистные сооружения под напором. При такой схеме отпадает необходимость в насосной станции второго подъема, и вода после очистки под оставшимся напором может поступать к потребителю. В этом достоинство напорных схем. Однако сопряженные с применением таких схем усложнение и удорожание конструкций очистных сооружений ограничивают их применение и делают их экономически оправданными обычно лишь при относительно небольших расходах очищаемой воды.

Комплекс очистных сооружений должен быть запроектирован на расчетный расход, включающий максимальное суточное водопотребление снабжаемого объекта и собственные нужды станции.

Очистные сооружения рассчитывают, как правило, на равномерную подачу воды в течение суток.

Глава 17

КОАГУЛИРОВАНИЕ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КОАГУЛЯЦИИ

§ 82. ПРОЦЕСС КОАГУЛИРОВАНИЯ

В практике очистки природных вод для целей водоснабжения коагулирование применяется весьма широко. Теоретические основы коагуляции излагаются в курсе «Химия воды и микробиология»[1]. Здесь дается лишь весьма краткое описание процесса коагулирования, используемого при осветлении и обесцвечивании воды.

Наиболее часто применяемыми реагентами при коагулировании (коагулянтами) в настоящее время являются: сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$, железный купорос $FeSO_4$ и хлорное железо $FeCl_3$.

При введении в осветляемую воду сернокислого алюминия происходит его диссоциация:

$$Al_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Al^{3+} + 3SO_4^{2-}.$$

Далее имеет место ионный обмен катионов алюминия на катионы, сорбированные содержащимися в воде глинистыми частицами. В результате гидролиза оставшихся в избытке катионов алюминия происходит образование выпадающей в осадок гидроокиси алюминия:

$$Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow \underset{\downarrow}{Al(OH)_3} + 3H^+.$$

Катионы водорода оказывают отрицательное влияние на протекание указанного процесса. Они реагируют с имеющимися в воде бикарбонатами:

$$H^+ + HCO_3^- \rightarrow CO_2 + H_2O.$$

Если естественная щелочность воды для хода этой реакции недостаточна, то воду необходимо подщелачивать. Для этого в нее вводят известь или соду. Связывание водородных катионов идет в случае добавления извести по уравнению

$$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O,$$

а при добавлении соды по уравнению

$$2H^+ + CO_3^{2-} \rightarrow CO_2 + H_2O.$$

[1] См., например, Н. Ф. Возная. Химия воды и микробиология. М., «Высшая школа», 1967.

При применении в качестве коагулянта хлорного железа реакция с образованием хлопьевидной взвеси $Fe(OH)_3$ протекает аналогично описанным выше:

$$FeCl_3 \rightarrow Fe^{3+} + 3Cl^-; \quad Fe^{3+} + 3H_2O \rightarrow \underset{\downarrow}{Fe(OH)_3} + 3H^+.$$

Хорошие результаты дает также применение железного купороса с одновременным хлорированием воды. Введение хлора облегчает процесс коагуляции и способствует окислению закисного железа.

Сернокислый алюминий выпускается нашей промышленностью двух сортов: очищенный и неочищенный. Первый содержит не менее 40%, а второй — не менее 35,5% безводного $Al_2(SO_4)_3$. Этот коагулянт требует применения устройств, интенсифицирующих процесс его растворения.

Необходимая доза коагулянта $Д_к$ устанавливается путем проведения технологического анализа воды используемого источника или на основании опыта эксплуатации очистных сооружений, работающих на воде данного источника.

При отсутствии данных специального технологического анализа для предварительных ориентировочных подсчетов при проектировании сооружений для осветления воды доза коагулянта, считая на безводную соль $Al_2(SO_4)_3$, может быть принята в зависимости от мутности очищаемой воды по табл. V.1.

Таблица V1

Содержание в воде взвешенных веществ в мг/л	Доза безводного сернокислого алюминия или хлорного железа в мг/л	Содержание в воде взвешенных веществ в мг/л	Доза безводного сернокислого алюминия или хлорного железа в мг/л
100	25—35	1000	60—90
200	30—45	1400	65—105
400	40—60	1800	75—115
600	45—70	2200	80—125
800	55—80		

Меньшие значения дозы относятся к водам, содержащим грубодисперсную взвесь.

При коагулировании воды для снижения ее цветности доза коагулянта $Al_2(SO_4)_3$ может быть определена по эмпирической формуле

$$Д_к = 4\sqrt{Ц},$$

где $Ц$ — цветность воды в градусах по платино-кобальтовой шкале.

При коагулировании воды одновременно для ее осветления и обесцвечивания принимают большее значение дозы коагулянта из полученных по табл. V.1 и приведенной формуле.

Определив требуемую дозу коагулянта $Д_к$ мг/л и зная минимальную щелочность $Щ$ мг-экв/л природной воды (обычно равную ее карбонатной жесткости), можно определить дозу извести $Д_и$, выраженную в CaO, необходимую для искусственного подщелачивания воды. Принимая резерв щелочности в 1 мг-экв/л, получим искомую дозу извести по формуле

$$Д_и = 28(0{,}0178\,Д_к - Щ + 1) \text{ мг/л}$$

или дозу соды Na_2CO_3, если применять ее вместо извести:

$$Д_с = 53(0{,}0178\,Д_к - Щ + 1) \text{ мг/л}.$$

Здесь 28 и 53 — соответственно эквивалентные массы извести и соды; 0,0178 — требуемое количество щелочи в мг-экв на 1 мг/л вводимого $Al_2(SO_4)_3$.

На ход процесса коагуляции большое влияние оказывает качество

природной воды (количество и характер содержащихся в ней взвешенных веществ, окисляемость, солевой состав, pH, температура).

Значительная окисляемость воды, обусловленная наличием в ней органических веществ, требует увеличения дозы коагулянта.

При коагулировании вод различного качества различными коагулянтами может быть установлено для каждого случая оптимальное значение pH воды. Так, при коагулировании мутных вод благоприятным является относительно высокое значение pH. Наоборот, коагулирование вод большой цветности (мягких) идет успешнее при относительно низком значении pH.

Более высокие температуры способствуют протеканию процесса коагулирования.

Для интенсификации процесса коагулирования с успехом применяются флокулянты — высокомолекулярные вещества (минеральные или органические). В настоящее время из минеральных флокулянтов наиболее широкое применение в практике очистки воды получила активированная кремниевая кислота, а из органических — полиакриламид. Дозы флокулянтов зависят от качества обрабатываемой воды (сырой, отстоенной). Использование флокулянтов позволяет сократить дозу коагулянта.

Флокулянты вводятся в обрабатываемую воду одновременно с введением коагулянтов, до или после них (порядок введения реагентов определяется экспериментально).

Следует отметить, что расчетные дозы реагентов позволяют установить размеры и производительности сооружений для их растворения и дозирования, при этом годовой расход реагентов определяется с учетом изменения доз реагентов при сезонных изменениях качества воды используемого источника.

Кроме изложенного процесса коагуляции, происходящего в объеме обрабатываемой воды, в практике водоочистки используется также процесс контактной коагуляции, происходящий в слое зернистой загрузки фильтров или контактных осветлителей (см. § 107).

§ 83. КОМПЛЕКС СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ КОАГУЛИРОВАНИЯ

На очистных станциях современных водопроводов установки, связанные с процессом коагулирования, обычно включают сооружения для подготовки и дозирования реагентов (реагентное хозяйство), для смешения осветляемой воды с реагентами (смесители), для хлопьеобразования (камеры хлопьеобразования).

Доставляемый на станцию коагулянт может храниться или в сухом виде, или в виде концентрированного раствора. Последнее весьма рационально, особенно на станциях большой производительности.

Коагулянт должен быть введен в очищаемую воду до ее поступления в отстойник или осветлитель. Если свойства природной воды требуют ее подщелачивания, то реагенты, повышающие щелочность воды, также должны быть поданы в воду до ее поступления в отстойник.

Наиболее часто применяемые для коагулирования и подщелачивания реагенты (сернокислый алюминий и известь) представляют собой твердые вещества. Подобные реагенты вводятся в осветляемую воду в виде раствора, суспензии или порошка. В практике очистки воды в СССР коагулянт вводится в воду в виде раствора, а известь — преимущественно (вследствие ее слабой растворимости) в виде суспензии.

Дозирование коагулянта в виде порошка получило значительное распространение в США.

В настоящей главе рассмотрены устройства для приготовления раствора коагулянта, его дозирования и смешения с осветляемой водой.

Для надлежащего действия реагента при введении его в очищаемую воду надо обеспечить совершенное смешение. Для этой цели служат смесители различных типов и конструкций. В смесителе начинаются реакции взаимодействия введенных в воду реагентов с веществами, находящимися в исходной воде. Однако для образования хлопьев надлежащего размера, обеспечивающих хорошее качество осветления воды при их осаждении, требуется определенное время. Поэтому прежде чем подавать воду из смесителя в отстойники, ее направляют в так называемые камеры хлопьеобразования, где происходит образование достаточно крупных хлопьев коагулянта. Рост хлопьев происходит быстрее при плавном перемешивания воды (со скоростями движения, не вызывающими разрушения хлопьев).

§ 84. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРА КОАГУЛЯНТА И ЕГО ДОЗИРОВАНИЯ

Для приготовления раствора коагулянта на станциях разной производительности применяют различные устройства.

На рис. V.2 показана установка для приготовления раствора очищенного сернокислого алюминия на станциях небольшой (до 1000 м³/сутки) производительности. При хранении коагулянта в сухом виде его загружают в «растворные» баки *1*, куда подается вода для его растворения. Дно растворных баков устроено в виде колосников. Для интенсификации процесса растворения под колосники по системе дырчатых труб *3* подается сжатый воздух. Полученный раствор поступает в нижние — рабочие (расходные) баки *2*, где доводится до требуемой концентрации (добавлением воды). По дну рабочих баков также проложена система дырчатых труб *4*, через которые подается сжатый воздух для перемешивания (барботажа) раствора. Из рабочих баков раствор требуемой концентрации поступает через дозаторы в смеситель.

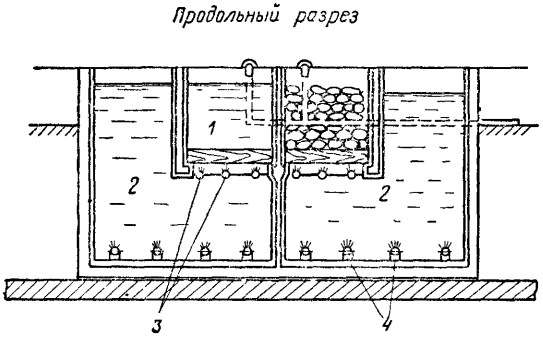
Для возможности непрерывного приготовления и непрерывной подачи раствора устанавливается не менее двух растворных и двух рабочих баков, работающих попеременно.

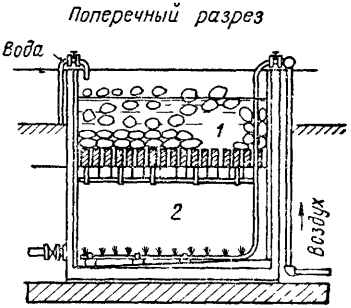
На станциях большей производительности растворные и расходные баки обычно конструктивно разделяются. На рис. V.3 показана конструкция одного из таких отдельных растворных баков. Здесь также осуществляется перемешивание раствора сжатым воздухом. Дно бака коническое для приема осадка (что особенно необходимо при использовании неочищенного коагулянта).

Раствор отбирается из верхней части бака при помощи поплавкового устройства и гибкого шланга, что дает возможность подавать в рабочие баки раствор с небольшим количеством взвеси.

Ускорение процесса растворения коагулянта может быть достигнуто использованием подогретой (до 50—60° С) воды.

Емкость растворных баков $W_р$ можно определять в зависимости от производительности станции Q м³/ч, расчетной дозы коагулянта





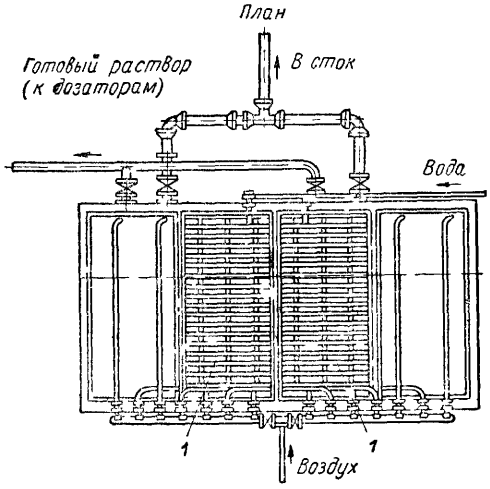
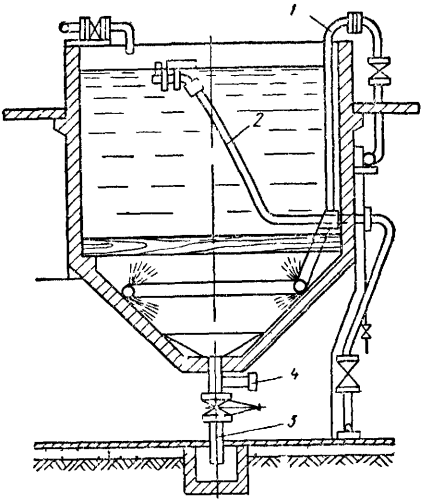


Рис V.2



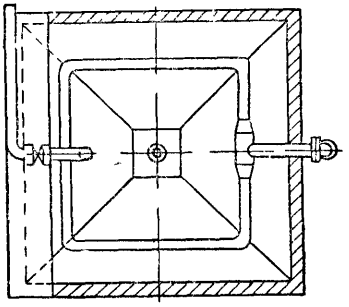


Рис. V.3

1 — труба для подвода сжатого воздуха; *2* — шланг с поплавком для отбора осветленного раствора, *3* — выпуск осадка; *4* — патрубок для подвода воды в целях взрыхления осадка перед его выпуском

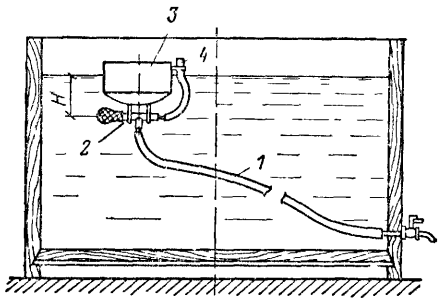


Рис. V.4

$Д_к$ г/м³, числа часов работы n, на которые производится заготовка раствора, принятой концентрации раствора b_1 % и объемной массы раствора коагулянта γ т/м³ по формуле·

$$W_р = \frac{Д_к nQ}{10\,000\, b_1 \gamma}.$$

Обычно принимают $b_1 = 17—18\%$ (по безводному продукту); $\gamma = 1$ т/м³; $n = 12—24$ ч для станций производительностью до 10 тыс. м³/сутки; $n = 8—10$ ч для станций производительностью от 10 до 50 тыс. м³/сутки; $n = 6—8$ ч для станций производительностью более 50 тыс. м³/сутки.

Емкость расходных баков W при концентрации раствора в них b_2 будет:

$$W = \frac{b_1}{b_2} W_р.$$

Обычно принимают b_2 от 4 до 12%.

В настоящее время на очистных станциях большой производительности начинают применять заготовку больших количеств раствора коагулянта высокой концентрации с постепенной его подачей и разбавлением в расходных баках. Это позволяет избежать частого повторения операций по загрузке баков, усовершенствовать (механизировать и автоматизировать) операции, связанные с приготовлением растворов, и снизить эксплуатационные расходы на очистных станциях.

Такие хорошо растворимые коагулянты, как железный купорос и хлорное железо, обычно растворяют в тех же баках, из которых их расходуют. Для таких коагулянтов находят применение баки с механическими мешалками.

Устройства для приготовления и дозирования раствора коагулянта удобно располагать над смесителем, чтобы раствор мог поступать туда самотеком. На станциях значительной производительности установка в верхних этажах громоздких и тяжелых растворных баков неудобна, поэтому здесь раствор коагулянта приготовляют внизу, перекачивая его затем в расположенные наверху дозирующие устройства либо через напорные дозаторы (см. далее).

Ввиду того что раствор сернокислого алюминия обладает коррозионными свойствами, баки для его приготовления, арматура, насосы и трубопроводы для его перекачки должны быть специально защищены от коррозии или выполнены из некорродирующих материалов.

Устройства для дозирования реагентов (дозаторы) могут быть отнесены к двум типам: а) дозаторы, которые устанавливаются на подачу постоянного количества реагента в единицу времени, и б) дозаторы, автоматически меняющие количество реагента при изменении расхода очищаемой воды (пропорциональные дозаторы).

Очевидно, что дозаторы первого типа могут обеспечить подачу в воду заданной дозы реагента лишь при условии неизменного расхода очищаемой воды.

В зависимости от того, как подается дозируемый раствор реагента — самотеком или под напором, применяют открытые или напорные дозаторы.

В современной практике очистки воды используются дозаторы

различных типов и конструкций. Здесь приводятся лишь некоторые из них.

На рис. V.4 показано устройство простейшего и весьма распространенного поплавкового дозатора системы В. В. Хованского для подачи постоянного расхода раствора реагента. Раствор отводится из дозатора через гибкую трубку *1*, на конце которой находится шайба (диафрагма) *2* с предохранительным колпачком, подвешенная при помощи поплавка *3* на определенной постоянной глубине под уровнем раствора. Воздушная трубка *4*, сообщающаяся с атмосферой, обеспе-

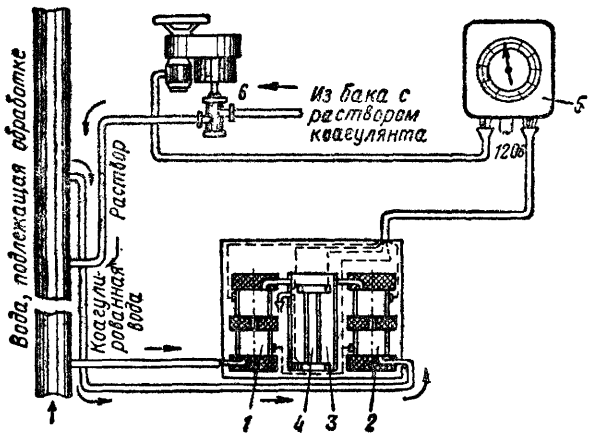


Рис. V.5

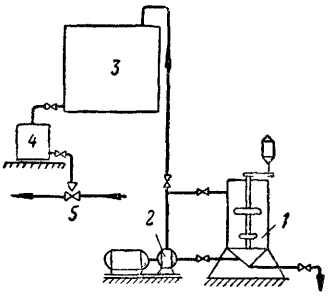


Рис. V.6

чивает постоянное давление за шайбой. Все это позволяет поддерживать постоянный расход раствора независимо от изменения его уровня в баке. Меняя отверстие диафрагмы, можно получить требуемый расход раствора коагулянта.

На рис. V.5 показана принципиальная схема устройства автоматического пропорционального дозатора раствора коагулянта системы Чейшвили—Крымского. Действие дозатора основано на изменении разности электропроводности воды до и после введения в нее коагулянта. Некоагулированная вода подается к электролитической ячейке *1*, а коагулированная — к ячейке *2*. Оттуда вода направляется в сосуд *3*, в котором расположена компенсационная электролитическая ячейка *4*, и отводится в сток. Электропроводность коагулированной воды (ячейка *2*) будет больше, чем некоагулированной (ячейка *1*); разность электропроводностей ячеек *2* и *1* можно рассматривать как добавочную электропроводность, величина которой соответствует количеству коагулянта, введенного в воду. Дозатор автоматически поддерживает заданную дозу коагулянта при помощи электронного равновесного моста *5*. При отклонении расхода коагулянта от заданной дозы равновесный мост воздействует на электропривод регулирующего вентиля *6*, установленного на трубе, подающей раствор коагулянта, и, меняя степень его открытия, восстанавливает требуемую дозу. Ячейка *4* служит для устранения влияния колебаний температуры воды.

Большим достоинством рассмотренного дозатора является то, что при его применении не требуется обеспечивать постоянную концентрацию раствора коагулянта в баке. При изменении концентрации будет автоматически меняться расход подаваемого раствора и тем самым бу-

дет поддерживаться заданная доза коагулянта. При этом можно обойтись одним затворно-растворным баком небольшой емкости [1].

На рис. V.6 дана схема устройства для приготовления раствора полиакриламида. Полиакриламид, представляющий собой вязкий гель, доставляется на станцию в бочках и вводится в очищаемую воду в виде 1%-ного раствора. В схему входят: бак *1* с мешалкой, циркуляционный насос *2*, расходный бак *3*, дозатор *4*, эжектор *5* на трубе, подающей раствор в очищаемую воду.

§ 85. СМЕСИТЕЛИ

Для надлежащего действия вводимых в воду реагентов необходимо быстрое и полное смешение их с водой. Его осуществляют при помощи специальных устройств — смесителей. В смеситель подается вся подлежащая обработке вода. Раствор реагента, прошедший дозатор, вводится в подающую трубу перед смесителем или в головную часть смесителя. Смешение раствора реагента с водой может быть осуществлено путем создания сильно завихренного движения воды в пределах

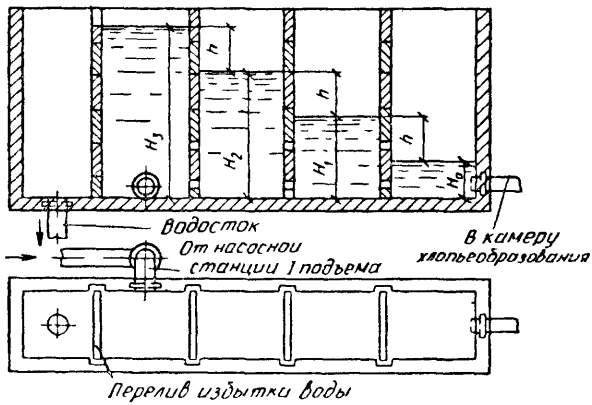


Рис. V.7

смесителя или путем механического перемешивания воды в смесителе различными мешалками. В нашей практике преимущественно используются системы, основанные на первом принципе. Они обеспечивают достаточно полное смешение и более просты и надежны в эксплуатации. Наиболее распространенными типами таких смесителей являются дырчатый, перегородчатый и вертикальный. В соответствии с требованиями СНиП II-Г.3-62 продолжительность пребывания воды в смесителе не должна превышать 2 мин.

Дырчатый смеситель выполняют в виде железобетонного или металлического лотка с дырчатыми перегородками (рис. V.7). Обычно устраивают три перегородки. Расстояние между перегородками принимают равным ширине смесителя. Скорость движения воды в лотке (за последней перегородкой) $v \approx 0{,}6$ м/с, средняя скорость в отверстиях

[1] Ряд дозаторов других систем описан в книге А. А. Кастальского и Д. М. Минца «Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения» (М., «Высшая школа», 1962) и в книге В. А. Клячко и И. Э. Апельцина «Очистка природных вод» (М., Стройиздат, 1971).

$v_0 \approx 1$ м/с. Суммарная площадь отверстий в каждой перегородке $\omega = q/v_0$, площадь каждого отверстия $\omega_0 = \omega/n$, где n — число отверстий. Практически диаметр отверстий принимается от 20 до 100 мм. Задаваясь диаметром отверстий (в этих пределах), можно определить требуемое число отверстий n. Потери напора в отверстиях каждой перегородки $h = v_0^2/(\mu^2 2g)$, где μ — коэффициент расхода, равный 0,65—0,75.

Задаваясь уровнем воды за последней перегородкой ($H_0 = 0{,}4$—$0{,}5$ м) и прибавляя к нему найденные потери напора h, можно получить уровень воды в каждом отделении смесителя. Уровень воды перед каждой перегородкой должен обеспечить затопление всех отверстий в ней. Истечение из верхнего ряда отверстий может происходить и не под уровень.

Определенный таким образом уровень воды в первом отделении смесителя дает наивысшую отметку, на которую должна быть подана вода насосами первого подъема и которая обеспечивает самотечное движение воды по всему комплексу очистных сооружений.

При помощи дырчатого смесителя достигается весьма хорошее смешение.

Перегородчатый смеситель (рис. V. 8) представляет собой прямо-

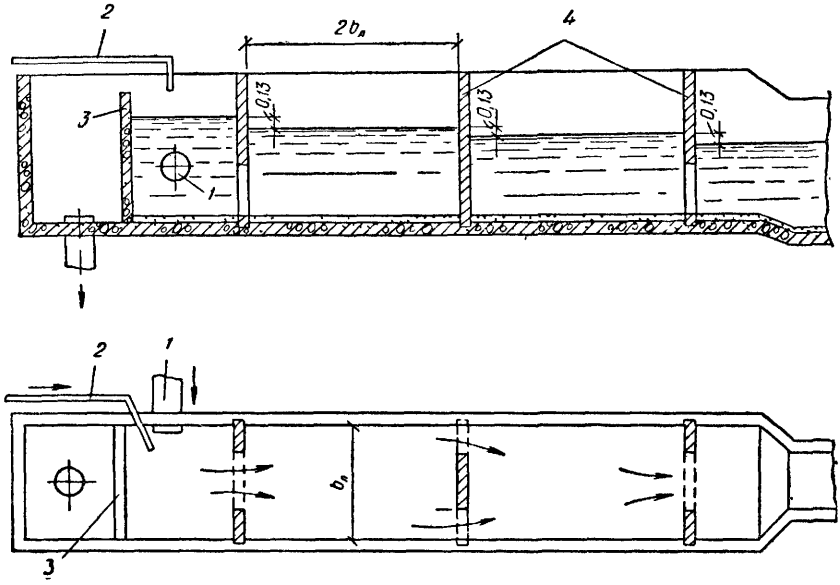


Рис. V.8

1 — труба для подвода воды; *2* — труба для подвода реагента; *3* — перелив; *4* — перегородки

угольный лоток, в котором последовательно установлено несколько перегородок с проемами, обусловливающими непрерывное изменение направления струй воды и скорости движения. Расчетная скорость движения воды в лотке принимается равной 0,6 м/с, а в проемах — 1 м/с. Расстояние между перегородками принимается равным двойной ширине лотка $b_л$. При подобных условиях падение уровня между отделениями будет составлять около 0,13 м.

Перегородчатый смеситель является более современной конструктивной разновидностью так называемого ершового смесителя, в котором перегородки ставились под некоторым углом к стенке лотка.

Смеситель вертикального (вихревого) типа, предложенный ВНИИ ВОДГЕО, основан на принципе турбулизации потока благодаря значительному изменению его живого сечения и соответствующему изменению его скорости.

Устройство такого смесителя схематически показано на рис. V.9. Вода подается по трубе *1*, раствор реагента вводится через патрубок *2*. Перемешивание осуществляется благодаря изменению скорости движения воды при переходе ее в конической части смесителя от узкого сечения к широкому. Отвод воды производится из верхней части смесителя через кольцевой желоб *3* (или по системе горизонтально расположенных дырчатых труб). Скорость в узком сечении конической части смесителя порядка 1 м/с, в цилиндрической части около 25 мм/с, время пребывания воды в камере около 1,5—2 мин, угол конусности 30—45°.

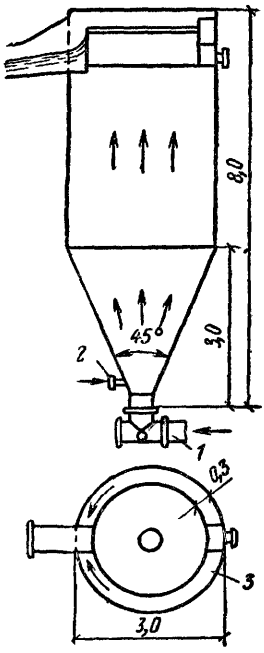


Рис. V 9

Смесители этого типа можно с успехом использовать в установках для осветления воды, а также для ее умягчения в широком диапазоне производительности. При известковании воды во всех случаях следует применять вертикальные смесители.

Вихревые смесители устраивают как круглыми, так и прямоугольными в плане (с пирамидальным днищем).

В некоторых установках смешение реагентов с водой осуществляется без специальных смесителей — путем впуска раствора реагента во всасывающую трубу насоса или в трубу, подающую воду к очистным сооружениям. Первый способ дает хорошее перемешивание, но применение его не всегда возможно и рационально из-за условий компоновки сооружений и неудобств, связанных с подачей реагента к насосам первого подъема, часто далеко отстоящим от основного узла очистных сооружений. Второй способ требует применения насоса или инжектора для введения раствора реагента в подающую трубу или расположения дозировочных устройств на соответственно большей высоте. При этом расстояние от места впуска реагента до камеры хлопьеобразования должно быть

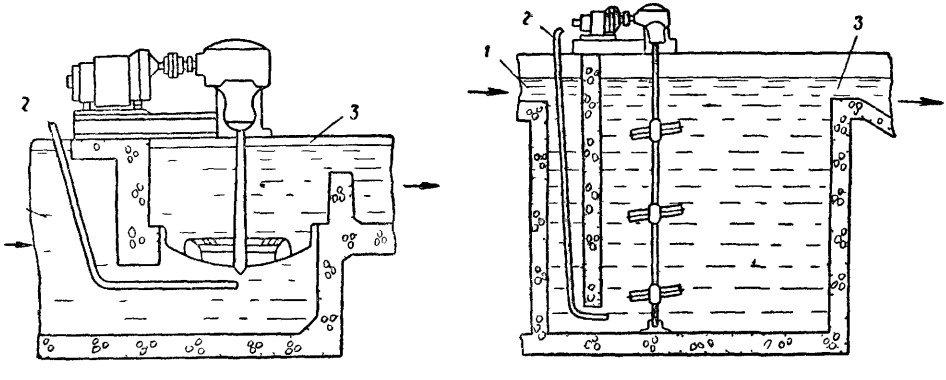


Рис V.10

1 — подвод воды; *2* — трубка для подвода реагента; *3* — отвод воды

определено из условия, чтобы потери напора в этом участке трубы составляли 0,3—0,4 м, включая потери напора на местные сопротивления (повороты трубы и т. п.).

К последнему способу может быть отнесен применяемый в ряде случаев впуск раствора реагентов в подающую трубу в пределах самой очистной станции. За местом ввода реагентов на подающей трубе устанавливается шайба (диафрагма), выполняющая роль смесителя.

Смесители мешалочного типа, как было сказано, основаны на механическом перемешивании воды с введенным в нее реагентом.

На рис. V.10 показаны механические смесители с горизонтально расположенным пропеллером и с лопастными мешалками. Время пребывания воды в пропеллерных механических смесителях составляет 10—13 с, в смесителях с лопастными мешалками (с вертикальной осью) — 30—60 с.

§ 86. КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

Камеры хлопьеобразования применяются в настоящее время лишь в схемах осветления воды, включающих отстойники.

Назначение камер хлопьеобразования — обеспечить образование хлопьев коагулянта. Процесс хлопьеобразования, начинающийся после смешения воды с реагентами, протекает относительно медленно, и для получения достаточно крупных хлопьев (для осаждения) требуется 10—30 мин. Процессу хлопьеобразования способствует плавное перемешивание воды. Скорость движения воды при перемешивании должна быть достаточной для предотвращения выпадения хлопьев коагулянта в пределах камеры, но не настолько большой, чтобы вызвать разбивание образовавшихся хлопьев.

Наибольшее распространение имеют камеры хлопьеобразования следующих типов: а) перегородчатые; б) вихревые; в) водоворотные; г) лопастные.

Перегородчатая камера (рис. V.11) представляет собой резервуар, разделенный перегородками на ряд последовательно проходимых водой коридоров *1*. Окна *2* с шиберами позволяют выключать отдельные коридоры и менять длину пути воды в камере. Число поворотов

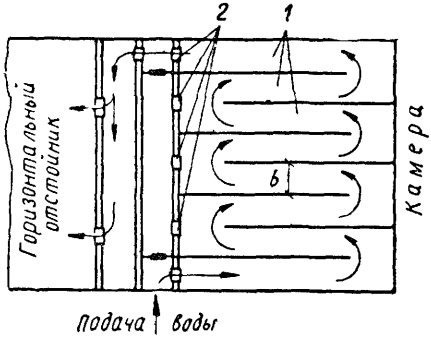


Рис. V.11

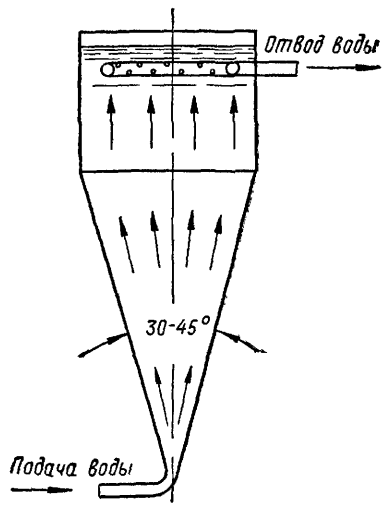


Рис. V.12

потока обычно принимают равным восьми-десяти. Для выпуска осадка дну камеры придается уклон. Осадок удаляется через систему сборных труб.

Кроме наиболее распространенных горизонтальных перегородчатых камер, устройство которых в плане представлено схематически на рис. V.11, применяют также перегородчатые камеры с вертикальным попеременно восходящим и нисходящим движением воды.

Объем камеры определяют исходя из указанного выше времени пребывания в камере обрабатываемой воды и ее расхода Q. Скорость движения воды в камере принимают равной 0,2—0,3 м/с. В горизонтальных камерах хлопьеобразования ширина коридора, образуемого перегородками, $b=Q/(vH)$ принимается не менее 0,7 м. Здесь H — глубина воды в камере.

Потери напора определяются по формуле

$$h = n\zeta \frac{v^2}{2g} + h_т,$$

где n — число поворотов потока;

$h_т$ — потери напора на трение по всей длине камеры.

Если принять $\zeta=3$ и пренебречь потерями напора на трение ввиду их относительно малой величины, то формула для h примет вид

$$h = 0{,}15\, nv^2.$$

Перегородчатые (горизонтальные) камеры применяют обычно для станций большой производительности (более 30 тыс. м³/сутки). Их удобно устраивать непосредственно примыкающими к горизонтальным отстойникам (как схематически показано на рис. V.11).

Камеры вихревого типа (предложены впервые Е. Н. Тетеркиным для станций умягчения воды) основаны на том же принципе изменения скорости потока, что и вихревой смеситель. Эти камеры могут иметь коническую форму (в комбинации с цилиндром) или призматическую.

Камера первого типа показана схематически на рис. V.12. Вода подается в нижнюю часть корпуса. Скорость движения воды в конической части меняется от 0,7 м/с в нижнем сечении до 4—5 мм/с в верхнем сечении. Время пребывания в камере 6—10 мин. Из верхней, цилиндрической части камеры вода отводится обычно системой дырчатых труб.

В вихревые камеры призматической формы вода поступает через нижнюю, продольную щель и отводится из верхней части камеры сборными дырчатыми трубами, погруженными в воду.

Водоворотные камеры чаще всего объединяют конструктивно с вертикальными отстойниками, совмещая с их центральной трубой (см. далее рис. V.21). Вода поступает в камеру через два расположенных в ее верхней части насадка, подобных насадкам в сегнеровом колесе. Эти насадки направляют струи воды по касательным к цилиндрическим стенкам трубы. Скорость выхода воды из насадков 2—3 м/с. Благодаря этому получается вращательное движение воды в верхней части камеры. В нижней ее части устраивают гаситель в виде решетки из поставленных на ребро досок, переводящий вращательное движение воды в поступательное.

Время пребывания воды в камере 15—20 мин.

В лопастных камерах перемешивание воды достигается вращением мешалок, приводимых в движение электродвигателем. Различают лопастные камеры с вертикальной и горизонтальной осью вращения мешалок. Первые представляют собой железобетонные резервуары, рассчитанные на 10—20-минутное пребывание в них обрабатываемой

воды. В центре камеры располагается вертикальная ось с сидящими на ней лопастями. Средняя скорость движения воды в камере 0,2—0,5 м/с.

Глава 18

ОТСТАИВАНИЕ ВОДЫ

§ 87. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕСИ В ВОДЕ

При исследовании процесса осаждения взвеси в сооружениях для осветления воды возникают большие трудности, так как это явление крайне сложно. На характер осаждения частиц взвеси влияют их размер и форма, наличие и режим движения осветляемой воды и ее вязкость (изменяющаяся с температурой). Встречаемые в практике мутные воды всегда представляют собой полидисперсную систему, т. е. содержат частицы различных размеров, а также различных форм. Наконец, весьма часто (при коагулировании) приходится иметь дело с осаждением агрегативно-неустойчивой взвеси, частицы которой в процессе осаждения меняют свою структуру и размеры.

Все это крайне затрудняет математическое выражение законов осаждения взвеси и получение точных методов расчета отстойников.

Рассмотрим некоторые теоретические предпосылки, которые могут быть положены в основу методики расчета отстойников.

Очевидно, что основной величиной, которая нас будет интересовать при проектировании и расчете отстойников, является скорость выпадения взвеси.

Скорость выпадения частицы в стоячей воде при температуре 10° С называют, как известно, гидравлической крупностью частицы. Величина частицы любой формы может быть условно выражена через теоретический (эквивалентный) диаметр. Эквивалентным диаметром называется диаметр такой шарообразной частицы, которая имеет ту же гидравлическую крупность, что и данная частица произвольной формы.

В стоячей воде на осаждающуюся частицу действуют следующие силы: F — сила тяжести частицы в воде; Φ — сила сопротивления жидкости; J — сила инерции.

Следовательно, уравнение движения осаждающейся частицы в самом общем виде

$$F - \Phi = J.$$

Сила тяжести частицы, погруженной в воду:

$$F = (\gamma - \gamma_0) W = (\rho - \rho_0) g W,$$

где γ и ρ — удельный вес и плотность частицы;
γ_0 и ρ_0 — удельный вес и плотность воды;
W — объем частицы.

Сила сопротивления жидкости Φ зависит от массы, размера и формы частицы, скорости ее выпадения и вязкости жидкости. В общем виде силу Φ можно представить так:

$$\Phi = \varphi \rho_0 u^2 d^2,$$

где φ — коэффициент сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho_0 u d}{\mu};$$

u — скорость выпадения частицы;

d — эквивалентный диаметр частицы;
μ — вязкость жидкости.

Сила инерции равна массе частицы, умноженной на ускорение, т. е.

$$J = (\rho - \rho_0) W \frac{du}{dt}.$$

Подставив значения всех сил в основное уравнение движения частицы, получим

$$(\rho - \rho_0) gW - \varphi\rho_0 u^2 d^2 = (\rho - \rho_0) W \frac{du}{dt}.$$

Скорость выпадения частицы весьма быстро приобретает постоянное значение, не изменяющееся во все время выпадения, поэтому ускорение du/dt будет равно нулю на большей части пути выпадения частицы. При $du/dt=0$ основное уравнение примет вид

$$(\rho - \rho_0) gW = \varphi\rho_0 u^2 d^2.$$

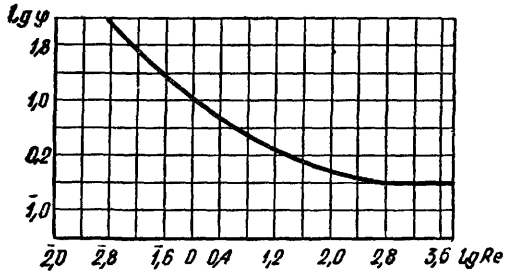


Рис. V.13

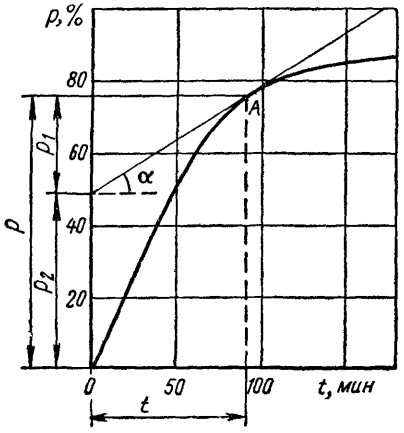


Рис. V.14

Определяя отсюда скорость выпадения u, получим

$$u = \sqrt{\frac{(\rho - \rho_0) gW}{\varphi\rho_0 d^2}}.$$

Для частицы произвольной формы, имеющей эквивалентный диаметр d:

$$W = \frac{\pi d^3}{6}.$$

Отсюда скорость выпадения равна:

$$u = \sqrt{\frac{\pi (\rho - \rho_0)}{6\varphi\rho_0} gd}.$$

Характер зависимости коэффициента сопротивления φ от числа Re виден из графика на рис. V.13. Кривая построена по опытам проф. А. П. Зегжда для песка и гравия. Для частиц весьма малого размера имеет место линейный закон сопротивления (левый участок линии), т. е. сила сопротивления будет пропорциональна первой степени скорости выпадения частицы. Для этих условий Стоксом дано известное выражение силы сопротивления: $\Phi = 3\pi\mu ud$. Сравнивая эту форму-

лу с общим выражением силы сопротивления жидкости, получим выражение для коэффициента сопротивления при линейном законе

$$\varphi = \frac{3\pi\mu}{\rho_0 u d} = \frac{3\pi}{\mathrm{Re}},$$

т. е. коэффициент φ может быть выражен в функции числа Рейнольдса. Подставив это выражение φ в полученную выше основную формулу для скорости выпадения, получим

$$u = \frac{g(\rho - \rho_0)}{18\mu} d^2,$$

т. е. получим известную формулу Стокса.

При увеличении диаметра осаждающихся частиц и скорости их выпадения, т. е. с увеличением числа Re (при $\mathrm{Re} > 1$), как видно из рис. V.13, линейный закон сопротивления нарушается. При дальнейшем увеличении числа Re кривая $\varphi = f(\mathrm{Re})$ постепенно переходит в прямую, параллельную оси абсцисс, т. е. значение φ становится постоянным, не зависящим от Re. Таким образом, при больших значениях Re мы имеем дело с квадратичной областью сопротивления, когда сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости выпадения.

Следует отметить, что и в этой области коэффициент сопротивления будет зависеть от формы осаждающихся частиц.

При уменьшении температуры воды ее вязкость μ увеличивается, и поэтому скорость выпадения u будет меньше в холодной воде и большей в теплой (что легко видеть из полученной формулы).

Приведенные выражения для скорости выпадения могут быть практически использованы лишь для случаев монодисперсной взвеси, т. е. когда частицы, замутняющие воду, имеют одинаковые (или весьма мало колеблющиеся) размеры.

Так как обычно при осаждении как естественной, так и коагулированной взвеси приходится иметь дело с полидисперсной взвесью с большим диапазоном размеров частиц, характеристики осаждения такой взвеси получают эмпирическим путем.

Определяя в лаборатории количество p взвешенных веществ (в процентах от количества взвешенных веществ до отстаивания), выпавших из проб исследуемой воды через различные промежутки времени (например, через каждый час), получают кривую выпадения взвеси (рис. V.14).

Обычно кривые выпадения взвеси для воды природных источников обращены выпуклой стороной вверх. Это свидетельствует о замедлении процесса осветления с течением времени, что объясняется неоднородным составом взвеси. Более крупные частицы выпадают быстрее и осаждаются в начале процесса осветления воды. Чем более выгнута кривая выпадения, тем более неоднороден состав взвеси. Для монодисперсной взвеси эта кривая обратилась бы в прямую линию.

Кривая выпадения взвеси позволяет определить, какой процент взвеси осаждается в течение любого заданного промежутка времени. Она дает возможность также найти процентное содержание различных фракций взвеси с разной гидравлической крупностью частиц.

Проведем касательную к кривой выпадения взвеси в точке A с абсциссой t (см. рис. V.14). Тангенс угла наклона этой касательной к оси абсцисс равен dp/dt, т. е. представляет собой скорость накопления осадка в данный момент времени. Очевидно, что в каждый момент времени на дно выпадают частицы всех размеров, кроме частиц, которые уже успели выпасть ранее, т. е. кроме частиц с гидравлической крупно-

стью $u>h/t$ (где h — высота слоя воды). Таким образом, тангенс угла наклона касательной в точке A есть скорость накопления в осадке всех частиц полидисперсной взвеси, гидравлическая крупность которых $u<h/t$.

Полное количество p всех частиц, выпавших в осадок за промежуток времени от 0 до t, определяется ординатой точки A. Из этого количества на долю частиц с гидравлической крупностью $u<h/t$ приходится $p_1=t\,\mathrm{tg}\,\alpha$, а на долю частиц с гидравлической крупностью $u>h/t$ приходится $p_2=p-p_1$.

Таким образом, по кривой выпадения взвеси легко найти процентное содержание частиц с гидравлической крупностью $u>h/t$. Оно равно отрезку, отсекаемому на оси ординат касательной, проведенной в точке A, имеющей абсциссу t.

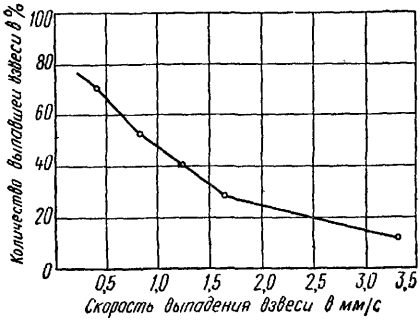


Рис. V 15

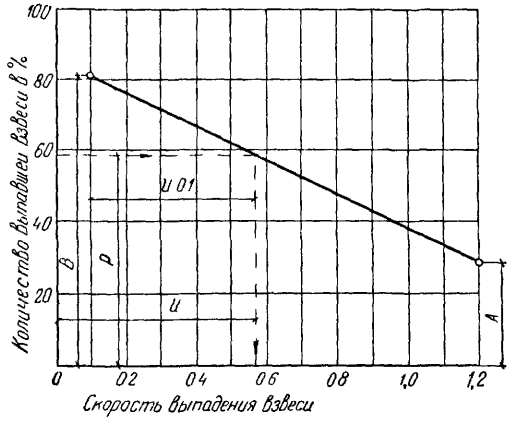


Рис. V.16

Кривые выпадения взвеси, полученные на основе специально поставленных экспериментов, позволяют обоснованно подойти к расчету отстойников при их проектировании. С помощью указанных кривых определяют расчетные скорости выпадения взвеси, при которых обеспечивается заданный эффект осветления воды, а также необходимое время пребывания воды в отстойниках.

Экспериментальные исследования, проводимые для получения кривых выпадения взвеси, относятся к технологическому анализу воды, упомянутому ранее.

Перенося результаты опытов по исследованию осаждения взвеси на реальные сооружения, очевидно, следует считать, что скорость выпадения взвеси данной крупности постоянна (если взвесь в процессе выпадения не агломерируется), и, следовательно, время ее осаждения будет пропорционально высоте слоя осветляемой воды. Таким образом, для частиц данной крупности будет иметь место соотношение

$$\frac{h_1}{t_1}=\frac{h_2}{t_2}=\ldots=\frac{h_n}{t_n},$$

или

$$\frac{t_2}{t_1}=\frac{h_2}{h_1}$$

и т. д.

Для полидисперсной взвеси (как было показано) может быть определена скорость выпадения, соответствующая заданному проценту

задержания взвеси. С этой целью можно использовать метод, показанный на рис. V.14. Весьма удобно для этой цели строить кривые зависимости $u=h/t$ от p. При этом, чтобы исключить влияние высоты h опытного цилиндра, можно разделить ее на периоды времени t_i, для которых опытом был установлен определенный процент выпадения взвеси. Тогда получим величины, имеющие размерность скорости $u_1=h/t_1$, $u_2=h/t_2$ и т. д., соответствующие каждому данному проценту выпадения взвеси.

Зависимость между процентом выпавшей взвеси и соответствующей ему скоростью u может быть выражена графически (график на рис. V.15, построенный в данном случае для той же воды, для которой построен график на рис. V.14).

Такие графики, составленные на основании предварительных опытов с водой, подлежащей осветлению, используются при проектировании отстойников.

Все сказанное справедливо для полидисперсной, но агрегативно-устойчивой взвеси, т. е. такой взвеси, в которой размеры и форма частиц в процессе осаждения не изменяются. Между тем при коагулировании, широко используемом в современной практике осветления воды, имеет место процесс агломерации частиц взвеси — их слипание, изменение формы и размеров (укрупнение). Таким образом, в практике приходится весьма часто иметь дело с осаждением агрегативно-неустойчивой взвеси. Для такой взвеси линейная зависимость между величинами h и t уже не будет соблюдаться. Поэтому при переносе в натуру результатов лабораторных опытов с коагулированной взвесью приходится использовать соотношение вида

$$\frac{t_2}{t_1}=\left(\frac{h_2}{h_1}\right)^n, \qquad (V.1)$$

где n — показатель степени, учитывающий отклонение от линейной зависимости.

По опытам Академии коммунального хозяйства значение n колеблется в пределах 0,2—0,5 (большее для хорошо сформированных крупных хлопьев).

Согласно упомянутой методике проведения технологического анализа (ГОСТ 2919—45), выпадение взвеси из воды характеризуется осаждаемостью взвеси. За показатель осаждаемости S принимается (по предложению А. А. Кастальского) отношение количества взвеси A (в %), выпадающей со скоростью 1 2 мм/с, к количеству взвеси B, выпадающей со скоростью 0,1 мм/с (в этих пределах лежат величины скоростей выпадения, практически имеющие место в отстойниках), т. е. $S=A/B$. Так как в этом диапазоне скоростей кривая выпадения взвеси (рис. V.16) может быть принята за прямую, при помощи величин A и B могут быть получены скорости выпадения u, соответствующие требуемому проценту p задержания взвеси отстойником. Как видно из рис. V.16:

$$u=\frac{1{,}2B-0{,}1A-1{,}1p}{B-A}. \qquad (V.2)$$

В практике очистки воды осаждение взвеси осуществляется в специальных сооружениях — отстойниках.

Под отстаиванием в строгом смысле слова понимается осаждение взвеси из воды, находящейся в покое. Осуществление такого процесса («периодического отстаивания») в практике очистки воды крайне неудобно, так как требует периодического наполнения и опорожнения отстойных бассейнов. Поэтому применяют так называемое непрерывное отстаивание, при котором осветляемая вода непрерывно проходит с малыми скоростями через отстойники, в которых происходит осаждение взвеси.

В настоящее время применяют отстойники трех типов, различаемые по направлению движения воды в них: горизонтальные, вертикальные и радиальные.

§ 88. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

Горизонтальный отстойник обычно представляет собой бассейн прямоугольной формы в плане (рис. V.17). Вода, подлежащая осветлению, подводится к одной из его торцовых стенок, проходит вдоль отстойника до противоположной торцовой стенки и там отводится. В отстойнике следует различать его рабочую часть *1*, где происходит осаждение взвеси, — зону осаждения и нижнюю часть *2*, где собирается выпавший осадок, — зону накопления и уплотнения осадка.

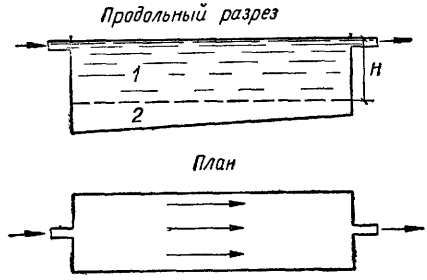


Рис. V.17

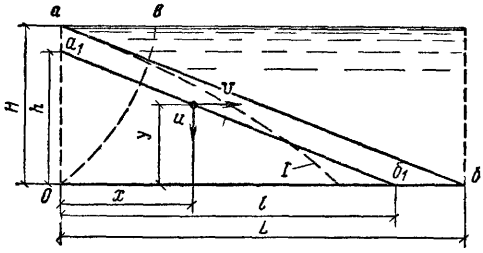


Рис. V 18

Рассмотрим характер движения воды и частиц взвеси в зоне осаждения горизонтального отстойника. Возьмем некоторую взвешенную в потоке частицу, положение которой определяется координатами x и y (рис. V.18). Уравнение траектории частицы в дифференциальной форме будет:

$$-\frac{dy}{dx}=\frac{u}{v},$$

где u — скорость выпадения частицы;

v — скорость ее горизонтального перемещения с потоком.

Разделив переменные и проинтегрировав, получим $-yv=ux+C$; постоянную C находим из граничного условия $x=0$ при $y=h$. Тогда уравнение траектории частицы примет вид:

$$ux-(h-y)v=0.$$

Если предположить в первом приближении, что величины u и v не являются функцией координат, то это уравнение будет представлено прямой $a_1б_1$, отсекающей на осях координат отрезки h (при $x=0$) и $hv/u=l$ (при $y=0$). Отрезок l представляет собой расстояние от начальной точки отстойника до точки, где частица упадет на его дно. Траектории частиц, вошедших в отстойник на разной высоте (при принятых допущениях), будут представлены семейством параллельных прямых. Очевидно, что самый длинный путь совершит частица, вошедшая в отстойник в поверхностном слое воды (на высоте $h=H$, где H — глубина зоны осаждения отстойника). Эта частица выпадет на дно (выйдет из зоны осаждения) на расстоянии L от входа в отстойник (прямая $аб$). Таким образом, для задержания всех частиц, вошедших в отстойник, он должен иметь длину

$$L=\frac{v}{u}H.$$

Формула эта является весьма приближенной. Если скорость u для агрегативно-устойчивой взвеси можно считать постоянной, то скорость v будет различна в разных точках отстойника по его глубине и ширине. Если представить эпюру распределения скоростей v в отстойнике по глубине (см. рис. V.18) кривой *Ов* (характерной для каналов), то, очевидно, что траектория частицы не будет прямой линией, а примет форму кривой *I*. Кроме того, скорости поступательного движения воды будут распределяться неравномерно по ширине отстойника — скорости в отдельных точках его поперечных сечений (в плане) будут отличаться от расчетной средней величины v. Вследствие этого частицы, одновременно вошедшие в отстойник на одной высоте, будут выпадать на дно на разных расстояниях от входа.

При турбулентном режиме движения воды (который, как показано рядом исследователей, обычно имеет место в отстойниках) выпадение частиц будет тормозиться наличием вертикальных составляющих w. Поэтому действительная скорость выпадения взвеси в отстойнике будет $u_0=u-w$, т. е. меньше, чем u; следовательно, длина отстойника для задержания взвеси той же крупности будет больше, чем при определении ее по скорости u. На основании сказанного в приведенную выше формулу для определения длины отстойника вводят коэффициент $\alpha=u/(u-w)$, после чего формула получает такой вид:

$$L=\alpha\frac{vH}{u}, \qquad (V.3)$$

В основу расчета отстойника должна быть положена заданная степень осветления воды в нем, т. е.

$$p=\frac{C_{\text{макс}}-C_0}{C_{\text{макс}}}100\%,$$

где $C_{\text{макс}}$ — наибольшее расчетное содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник (мг/л);

C_0 — допускаемое их содержание в отстоенной воде (мг/л).

При коагулировании осветляемой воды величина $C_{\text{макс}}$, очевидно, должна отражать не только содержание взвеси в природной воде, но и то количество взвеси, которое привносится в процессе коагулирования, а иногда и подщелачивания воды.

Значение $C_{\text{макс}}$ (мг/л) может быть определено по формуле

$$C_{\text{макс}}=M+kД_{\text{к}}+0{,}25Ц+B,$$

где M — наибольшее содержание взвеси в природной воде в мг/л;

k — коэффициент, зависящий от типа коагулянта (для очищенного сернокислого алюминия $k=0{,}55$, для неочищенного сернокислого алюминия $k=1$, для сернокислого и хлорного железа $k=0{,}8$);

$Д_{\text{к}}$ — доза коагулянта в мг/л;

$Ц$ — цветность осветляемой воды в град;

B — содержание нерастворимых примесей, вводимых с известью при подщелачивании, в мг/л.

Величина C_0 для отстойников хозяйственно-питьевых водопроводов в соответствии с требованиями СНиП должна быть не более 8—12 мг/л.

Определив таким образом требуемый процент задержания взвеси отстойником, можно найти (по кривой выпадения взвеси, полученной в результате технологического анализа осветляемой воды) требуемую расчетную скорость выпадения взвеси. При этом удобно пользоваться формулой (V.2).

Для расчета отстойников, предназначаемых для осаждения агрегативно-неустойчивой взвеси, также можно использовать кривые, подобные приведенной на рис. V.15. Они удобны тем, что дают соотношение между требуемым процентом задержания взвеси и расчетной скоростью выпадения взвеси. Однако при наличии такой взвеси по кривой получается фиктивная величина скорости выпадения:

$$u_0 = \frac{h}{t},$$

где h — принятая высота зоны осаждения отстойника;

t — требуемое время осаждения в отстойнике, определяемое по формуле (V.1).

При отсутствии данных технологического анализа скорость u_0 для расчета отстойника может быть принята по табл. V.2, составленной на основании опыта работы отстойников при различных способах обработки воды.

Таблица V.2

Характеристика обрабатываемой воды и способ ее обработки	u_0, мм/с
Цветные воды с содержанием взвешенных веществ до 250 мг/л при обработке их коагулянтом	0,35—0,45
Мутные воды с содержанием взвешенных веществ более 250 мг/л при обработке их коагулянтом	0,5—0,6
Мутные воды, не обрабатываемые коагулянтом	0,12—0,15

Для определения длины отстойника необходимо иметь также численное значение коэффициента $\alpha = u/(u-w)$. Величина вертикальной составляющей w зависит от средней скорости потока v. На основании исследований А. А. Труфанова и П. И. Пискунова с достаточной степенью точности можно принимать $w = v/30$, т. е.

$$\alpha = \frac{u}{u - \frac{v}{30}}.$$

Из формулы (V.3) видно, что

$$v = \left(\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{L}{H}\right) u = Ku.$$

Величина K зависит в основном от соотношения L/H. Для горизонтальных водопроводных отстойников отношение L/H рекомендуется принимать в пределах от 10 до 25. Для этих значений величину K можно брать из табл. V.3.

Высоту зоны осаждения отстойника H принимают в зависимости от высотной схемы очистных сооружений в пределах от 2,5 до 3,5 м.

За основную исходную формулу для расчета горизонтальных отстойников может быть принята также формула площади отстойника в плане F.

Если умножить обе части формулы (V.3) на ширину отстойника B, то получим

$$F = BL = \frac{\alpha v H B}{u},$$

или, имея в виду, что площадь поперечного сечения отстойника $HB = Q/v$, получим:

$$F = \alpha \frac{Q}{u}.$$

Строительные нормы рекомендуют начинать расчет с определения площади отстойника в плане, после чего определять ширину отстойника $B = Q/(vH)$, а затем длину отстойника $L = F/B$.

Во всех приведенных формулах под Q понимается расчетный расход, приходящийся на один отстойник.

Нижняя часть отстойника — зона накопления и уплотнения осадка — должна быть рассчитана на прием осадка, выпадающего за период между чистками отстойника.

При значительном содержании взвешенных веществ в осветляемой воде целесообразна механизация удаления осадка из отстойника. Для механизированного удаления осадка могут применяться скребковые транспортеры, сгребающие осадок в приямок, из которого он удаляется насосом или выпускается под гидростатическим давлением. Удаление осадка (без выключения работы отстойника) может осуществляться также системой дырчатых труб, уложенных по его дну.

Таблица V.3

L/H	10	15	20	25
K	7,5	10	12	13,5

Объем зоны накопления осадка (в м^3) может быть определен по формуле

$$W_{з.н} = \frac{Q(C_{ср} - C_0)T}{1000\,\delta},$$

где Q — суточная производительность отстойника в м^3;

$C_{ср}$ и C_0 — соответственно средняя (в период между выпусками осадка) расчетная мутность поступающей воды и заданная мутность отстоенной воды в мг/л;

T — продолжительность периода между выпусками осадка в сутках;

δ — расчетная концентрация уплотненного осадка в зоне накопления в г/л, принимаемая в зависимости от $C_{ср}$ (табл. V.4).

Таблица V.4

$C_{ср}$, мг/л	<100	100—400	400—1000	1000—2500
δ, г/л	30	30—50	50—70	70—90

Период накопления осадка между чистками T должен приниматься в соответствии с продолжительностью паводка, но не меньше одних суток (в последнем случае следует предусматривать устройство для механизированного удаления осадка).

В соответствии с характером выпадения взвеси наибольшая емкость нижней части отстойника обеспечивается в начале отстойника. Для этого дну его придается продольный уклон (обратный ходу воды) не менее 0,02.

Горизонтальные отстойники обычно оказываются экономически

оправданными при общей производительности станции более 30 тыс. м³/сутки.

Как правило, устраивают не менее двух параллельно работающих отстойников.

Конструкция отстойника должна обеспечивать возможно более равномерное распределение скоростей потока по его сечению и возможно более полное использование его объема. Для этого отстойники значительной ширины разделяют продольными перегородками на несколь-

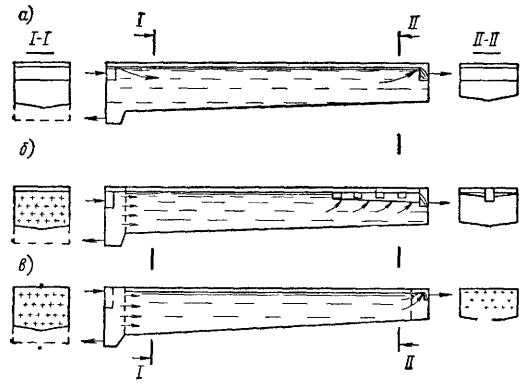


Рис. V.19

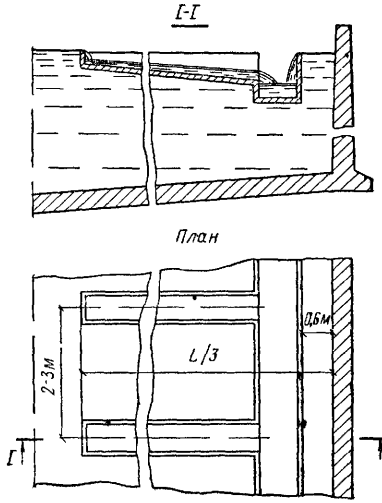


Рис. V.20

ко параллельных коридоров (ширина которых должна быть не более 9 м). Кроме того, в начале и конце отстойника предусматриваются устройства для обеспечения рассредоточенной подачи воды в отстойник и рассредоточенного отвода воды из него. Для этого используются поперечные водосливы в виде распределительных и сборных желобов (рис. V.19, *а*), дырчатые распределительные перегородки (рис. V.19, *б*) и дырчатые желоба (рис. V.19, *в*). На рис. V.20 показано устройство лотков для рассредоточенного сбора осветленной воды.

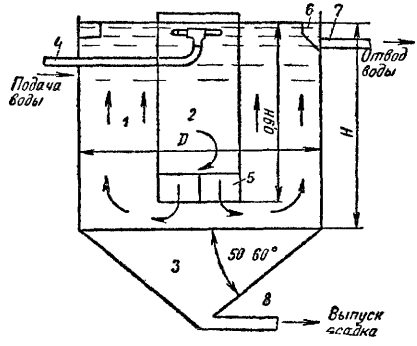
§ 89. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

В вертикальных отстойниках осветляемая вода движется вертикально — снизу вверх. Отстойник (рис. V.21) представляет собой круглый (иногда квадратный) в плане бассейн *1* с центральной цилиндрической трубой *2* и конической (или пирамидальной) нижней частью *3*. Центральная труба 2 — это встроенная в отстойник камера хлопьеобразования водоворотного типа. Вода подается в нее по трубе *4*, проходит камеру сверху вниз и через гаситель *5* поступает в нижнюю часть зоны осаждения отстойника. Далее вода движется вверх и отводится через сборный желоб *6* и отводную трубу *7*. Осадок скапливается в нижней конической части отстойника *3*, откуда он периодически удаляется по трубе *8*.

Осаждение взвеси происходит во время восходящего движения воды в отстойнике. Характер движения частиц взвеси зависит от скорости движения воды v и скорости выпадения частиц u (в неподвижной воде). В вертикальных отстойниках обе скорости направлены верти-

кально, но в противоположные стороны. Задерживаться отстойником будут частицы, имеющие скорость $u > v$. Теоретически предельной скоростью выпадения частиц, улавливаемых отстойником, будет скорость $u = v$.

При осаждении коагулированной взвеси (что всегда имеет место в вертикальных отстойниках) осаждающиеся частицы благодаря агломерации укрупняются и скорость их выпадения возрастает. Поэтому, приняв при расчете $u = v$, мы практически всегда будем иметь выпаде-



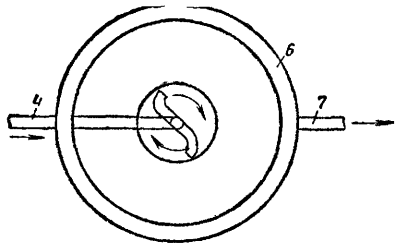


Рис. V.21

ние взвеси. Здесь v — средняя расчетная скорость движения воды в отстойнике, лежащая обычно в пределах 0,5—0,6 мм/с.

Площадь зоны осаждения отстойника ω может быть определена по формуле

$$\omega = \frac{Q}{v},$$

где Q — расчетный расход воды.

Высота зоны осаждения вертикальных отстойников H, так же как у горизонтальных отстойников, определяется в соответствии с высотной схемой сооружений. Обычно ее принимают в пределах 4—5 м. При этом рекомендуется принимать отношение D/H не более 1,5.

Чтобы обеспечить равномерность распределения скоростей движения воды по сечению отстойника (при диаметре его более 4 м), целесообразно для отвода воды кроме кольцевого периферийного желоба устраивать радиальные желоба.

Удаление осадка из вертикальных отстойников производится без выключения их из работы. Коническая (или пирамидальная) форма нижней части отстойника должна обеспечивать сползание осадка к отводной трубе. Для этого рекомендуется принимать угол $\alpha = 50 \ldots 60°$ (см. рис. V.21).

Зависимость между объемом зоны накопления осадка $W_{зн}$ и периодом времени накопления T определяется той же формулой, что и для горизонтальных отстойников.

В настоящее время использование вертикальных отстойников рекомендуется лишь для станций небольшой производительности — до 3 тыс. м³/сутки.

§ 90. РАДИАЛЬНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

При увеличении отношения D/H в вертикальных цилиндрических отстойниках возрастают горизонтальные составляющие скорости движения воды из центральной трубы к кольцевому желобу и быстро па-

дает степень использования объема отстойника. Однако, изменив условия впуска воды в отстойник, можно и при большом отношении D/H получить относительно хорошее использование его объема.

Отстойники с отношением $D/H>3{,}5$ имеют уже в основном радиальное направление движения воды и носят название радиальных отстойников (рис. V.22). По характеру движения воды они ближе к горизонтальным отстойникам.

Особенностью работы радиальных отстойников является изменение скорости движения воды от максимального значения в их центре до минимального значения у периферии.

К преимуществам радиальных отстойников относится их незначительная глубина (даже при больших производительностях).

В этих отстойниках вода подается в их центральную часть, проходит через специальные распределительные устройства *1* (в виде цилиндрического дырчатого успокоителя) и движется в радиальном направлении к периферийному сборному желобу *2*, из которого отводится по

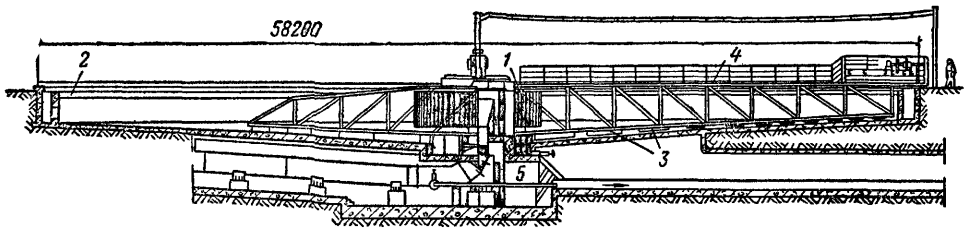


Рис. V.22

трубам. Осадок удаляется механически при помощи скребков *3*, укрепленных на вращающейся ферме *4*. Скребки сгребают осадок к приямку *5* в центре отстойника, откуда он удаляется по грязевой трубе.

Для приближенного расчета радиальных отстойников проф. В. А. Клячко предложил формулу

$$F=\alpha\frac{Q}{3{,}6\,u_{\text{р}}}+f,$$

где F — площадь радиального отстойника в м²;

$\alpha=\dfrac{u_{\text{р}}}{u_{\text{р}}-w}$ — коэффициент, учитывающий влияние вертикальной составляющей скорости потока [здесь $u_{\text{р}}$ — расчетная скорость осаждения взвеси в мм/с, определяемая на расстоянии $r_{\text{ср}}=\dfrac{R-r_0}{2}+r_0$ от центра отстойника; R — радиус отстойника; r_0 — радиус зоны повышенной турбулентности (при входе воды в отстойник); w — среднее квадратичное значение вертикальной составляющей скорости потока в среднем сечении отстойника];

Q — расчетный расход в м³/ч.

f — площадь центральной зоны, где вследствие большой турбулентности не происходит осаждения взвеси.

Радиальные отстойники устраивают диаметром 5—60 м и более. Глубину отстойника h у стенки обычно принимают в пределах 1,5—2,5 м. Тогда глубина в центральной части $H=h+iR$, где i — уклон днища отстойника, принимаемый равным 0,04.

В настоящее время радиальные отстойники получили применение

и для осветления мутных речных вод (без коагулирования или с коагулированием).

При значительном количестве осадка возможность непрерывного его удаления является большим достоинством радиальных отстойников.

§ 91. ГИДРОЦИКЛОНЫ

Из общей теории осаждения (§ 87) мы видели, что частицы взвеси выпадают из воды под действием силы тяжести $F=(\rho-\rho_0)gW$, где ρ и ρ_0 — плотности частицы взвеси и воды; g — ускорение свободного падения; W — объем частицы.

Во вращающемся объеме воды при значительной скорости вращения на частицу будут действовать большие центробежные силы, увлекающие ее в радиальном направлении от оси вращения. Центробежная сила равна $P=(\rho-\rho_0)jW$. Ускорение центробежной силы $j=v^2/R$, где v — линейная скорость частицы и R—ее радиус вращения. При достаточно быстром вращении и относительно небольших значениях R могут быть получены ускорения j, во много раз превышающие ускорение свободного падения g.

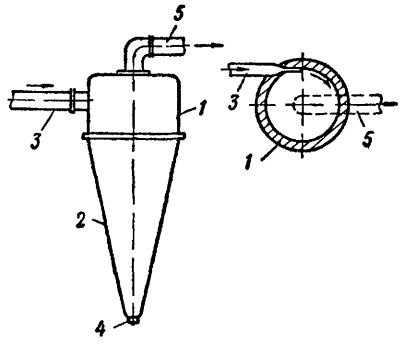


Рис V 23

Таким образом, во вращающемся объеме жидкости будет иметь место быстрое перемещение частиц взвеси от центра вращения к периферии. На этом простом принципе основана работа гидроциклонов — аппаратов, получивших применение в практике осветления воды.

Гидроциклон (рис. V.23) представляет собой цилиндрический корпус *1* с вытянутым коническим днищем *2* Вода подается в корпус *1* через тангенциально расположенный патрубок *3*. При вращении воды частицы взвеси отгоняются к цилиндрической стенке корпуса *1* и сползают по ней в конусное днище, из которого удаляются через выпуск *4*. Осветленная вода отводится из центра корпуса *1* через патрубок *5*. Производительность гидроциклона может быть определена по формуле

$$Q = 3600\,\alpha\mu_r\omega\sqrt{2g\Delta H},$$

где Q — количество осветляемой воды в м³/ч;

α — коэффициент, учитывающий потери воды в осадке и равный 0,85—0,90;

μ_r — коэффициент расхода гидроциклона;

ω — площадь сечения подающего патрубка;

ΔH — потери напора в гидроциклоне.

Эффективность работы гидроциклона возрастает с увеличением скорости вращения воды (и, следовательно, расхода воды). Скорость эта (при заданной производительности) будет тем больше, чем меньше диаметр гидроциклона. При этом одновременно будут возрастать потери напора в гидроциклоне и расход энергии на подачу воды.

Для удаления тонкодисперсной взвеси оказывается рациональным применение гидроциклонов весьма малых диаметров (порядка 10—20 мм). Для возможности осветления заданных количеств воды при этом приходится использовать значительное число параллельно включенных гидроциклонов. В этом случае удобно применять специальные

аппараты — мультициклоны, представляющие собой конструктивное оформление в одном корпусе целой батареи из нескольких десятков малых гидроциклонов.

Глава 19

ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ ПРОПУСКОМ ЧЕРЕЗ СЛОЙ ВЗВЕШЕННОГО ОСАДКА

§ 92. ПРИНЦИП РАБОТЫ ОСВЕТЛИТЕЛЕЙ

Для предварительного осветления воды (перед подачей ее на фильтры) вместо отстойников в настоящее время широко используют так называемые осветлители со взвешенным осадком.

Этот метод осветления применим только при условии введения в воду коагулянта, т. е. при условии предварительной обработки воды, лишающей частицы взвеси агрегативной устойчивости.

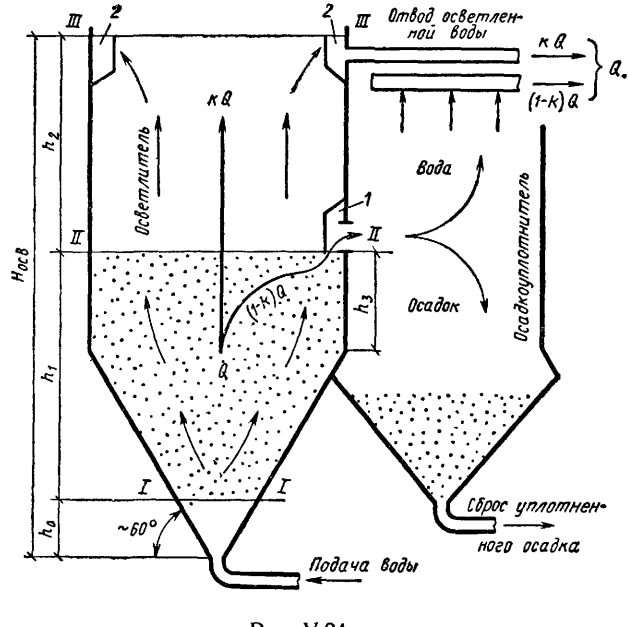


Рис. V.24

Принцип работы осветлителя со взвешенным осадком схематически показан на рис. V.24. Вода из смесителя (после введения в нее реагентов) подается в нижнюю часть осветлителя. В большинстве современных конструкций осветлителей их нижнюю часть устраивают постепенно расширяющейся кверху (т. е. конической или призматической). Благодаря этому скорость восходящего потока в пределах нижней части осветлителя постепенно уменьшается. Хлопья коагулянта и увлекаемые ими частицы взвеси поднимаются восходящим потоком воды до тех пор, пока их скорость выпадения не станет равной восходящей скорости потока. Допустим, что это будет иметь место на высоте h_0 над точкой ввода воды — на уровне *I—I*. Выше этого уровня по мере работы осветлителя образуется слой взвешенного

осадка, через который будет проходить и как бы фильтроваться осветляемая вода. Высота слоя h_1 зависит от требуемого эффекта осветления воды. Эта высота обеспечивается расположением устройства *1* для отбора осадка на определенном уровне *II—II*. Осадок удаляется в осадкоуплотнитель. Вода, прошедшая такой своеобразный «взвешенный фильтр», продолжает восходящее движение до уровня *III—III*, где расположены устройства *2* для ее сбора и отвода. Высота h_2 слоя воды над слоем взвешенного осадка должна обеспечить задержание частиц мути, проскочивших через взвешенный осадок, и защитить поверхность взвешенного осадка от подсоса взвеси устройствами *2* (желобами, перфорированными трубами) для сбора осветленной воды. Подобный подсос возможен вследствие образования местных потоков воды вблизи указанных устройств.

В слое взвешенного осадка происходит процесс прилипания частиц взвеси к образовавшимся в воде хлопьям коагулянта, т. е. своеобразный процесс контактной коагуляции. В этом слое имеет место так называемое стесненное осаждение хлопьев и частиц мути; скорость выпадения частиц в условиях стесненного осаждения всегда меньше, чем при их свободном осаждении; скорость восходящего движения воды в пределах этого слоя в каждый момент работы осветлителя равна скорости выпадения хлопьев. При увеличении концентрации вещества в слое взвешенного осадка изменяется (уменьшается) скорость выпадения частиц. Поэтому слой взвешенного осадка обладает известной устойчивостью.

Если скорость восходящего движения v_0 будет превышать скорость выпадения частиц u_0 при данной концентрации взвеси, то эта концентрация уменьшится и может быть нарушен баланс поступления взвеси в осветлитель и удаления ее избытка в осадкоуплотнитель. В результате этого произойдет подъем слоя взвешенного осадка и вынос взвеси из осветлителя.

Для надлежащего эффекта осветления необходимо, очевидно, правильно назначить высоту взвешенного слоя h_1 и скорость восходящего движения воды. Эти величины для заданной степени осветления будут зависеть от качества природной воды и методов ее химической обработки.

Идея метода осветления воды пропуском ее через слой взвешенного осадка впервые выдвинута проф. С. Х. Азерьером в результате его исследований работы вертикальных отстойников.

Большие и ценные исследования в области разработки методов расчета и создания конструкций осветлителей приведены проф. Е. Ф. Кургаевым и канд. техн. наук Е. Н. Тетеркиным.

Осветлители со слоем взвешенного осадка в настоящее время широко используются для осветления мутных вод, при обесцвечивании, а также при реагентном умягчении воды (см. главу 23).

Осветлители работают эффективно при условии относительно незначительных колебаний часового расхода подаваемой воды (не более $\pm 10\%$ в течение часа) и незначительных колебаний ее температуры (не более 1° в течение 1 ч).

§ 93. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ОСВЕТЛИТЕЛЕЙ

Типы осветлителей, созданных и применяемых в СССР и за рубежом, весьма разнообразны.

Основными признаками, отличающими отдельные типы осветлителей, используемых в отечественной практике, являются: а) форма

рабочей камеры осветлителя; б) наличие или отсутствие дырчатого днища под слоем взвешенного осадка; в) метод удаления избыточного осадка из рабочей камеры; г) конструкция и место расположения осадкоуплотнителей.

Осветлители бывают круглой или прямоугольной формы в плане. Нижняя часть большинства осветлителей имеет форму конуса, пирамиды или призмы (т. е. с переменным поперечным сечением рабочей части) с уклоном стенок к горизонту около 60°.

Некоторые осветлители имеют почти плоское дно (с весьма малым углом конусности) и постоянную площадь поперечного сечения рабочей части — по ходу воды. В таких осветлителях обычно устраивают второе дырчатое днище, непосредственно над которым образуется слой взвешенного осадка. Опыт использования осветлителей этого типа показал их существенные эксплуатационные недостатки (см. далее).

Поддержание требуемой высоты слоя взвешенного осадка в большинстве современных конструкций осветлителей достигается так называемым принудительным отсосом (отбором) осадка. Методы отсоса показаны далее на отдельных примерах осветлителей.

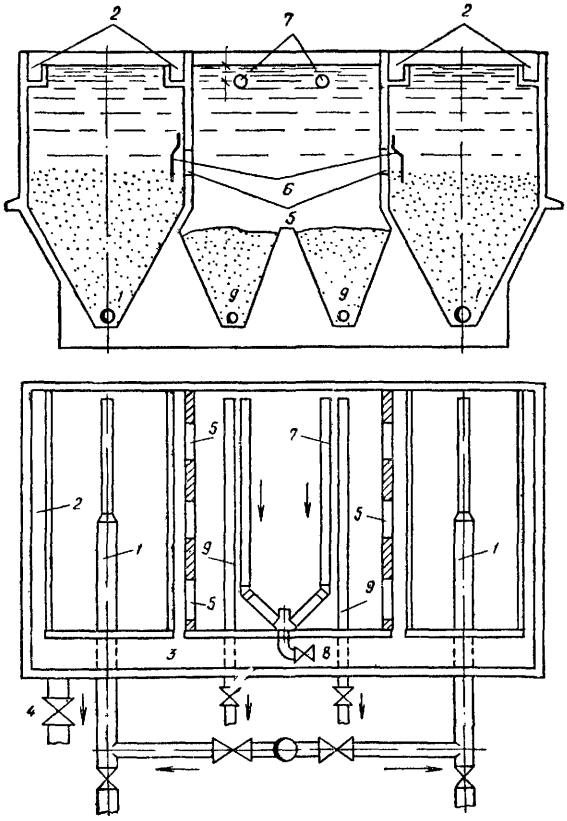


Рис. V.25

Наконец, осадкоуплотнители устраивают встроенными в осветлитель или вне его (выносными), располагают их в середине осветлителя или под его дном.

Следует отметить, что наличие в воде, подаваемой на осветлитель, пузырьков воздуха может нарушить нормальную работу слоя взвешенного осадка. Поэтому обычно предусматривают удаление воздуха из воды до ее поступления в осветлитель.

Рассмотрим некоторые современные конструкции осветлителей.

На рис. V.25 показана конструкция прямоугольного осветлителя коридорного типа, разработанная институтом Союзводоканалпроект. Рабочая камера состоит из двух отделений, в нижнюю призматическую часть которых по трубам *1* подается осветляемая вода. Осветленная вода отводится желобами *2* в сборный лоток *3* и далее по отводящей трубе *4*. Камера для сбора и уплотнения осадка расположена в середине, между двумя отделениями осветлителей. Осадок из взвешенного

слоя поступает в осадкоуплотнитель через окна *5*, прикрытые козырьками *6*, препятствующими поступлению в окна осветленной воды. Для принудительного отсоса осадка через окна осуществляется отбор воды из осадкоуплотнителя по трубам *7* в тот же сборный желоб *3*. При помощи задвижки *8* можно обеспечить такой отбор воды, чтобы уровень

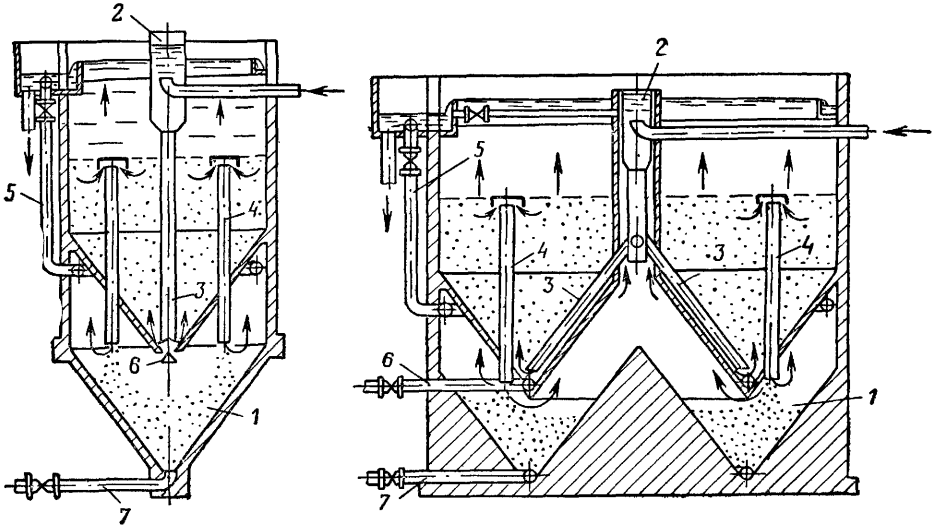


Рис. V.26

ее в осадкоуплотнителе был несколько ниже, чем в отделениях рабочей камеры. Эта разность уровней и будет обеспечивать постоянный (принудительный) отбор осадка через окна *5*. Уплотненный осадок выпускается по дырчатым трубам *9*.

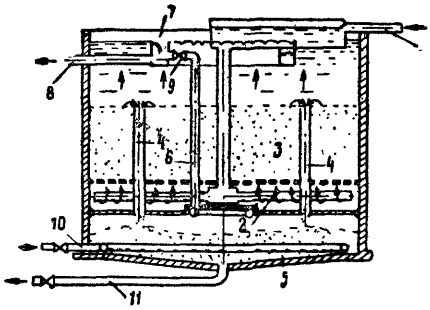


Рис. V.27

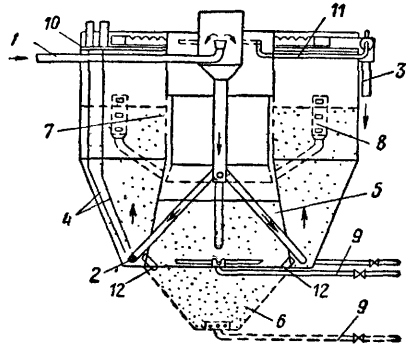


Рис. V.28

На рис. V.26 показаны осветлители конструкции ВНИИ ВОДГЕО. Вертикальный осадкоуплотнитель *1* расположен под днищем рабочих камер осветлителя. Вода подается через воздухоотделитель *2* и по трубам *3* поступает в нижнюю часть рабочих камер. Осадок по трубам *4* поступает в поддонный осадкоуплотнитель.

Для осуществления принудительного отсоса осадка из осадкоуплотнителя отбирается вода по трубе *5*. Сброс осадка происходит по трубам *6* и *7*.

На рис. V.27 показано устройство осветлителя, разработанного ВНИИГСом (Н. И. Колотовым), с поддонным осадкоуплотнителем и дырчатым днищем. Вода с введенным в нее реагентом по трубе *1* подается в лоток (служащий воздухоотделителем), а из него по вертикальной трубе поступает через распределительный цилиндр в распределительные дырчатые трубы *2*. Через отверстия в этих трубах вода посту-

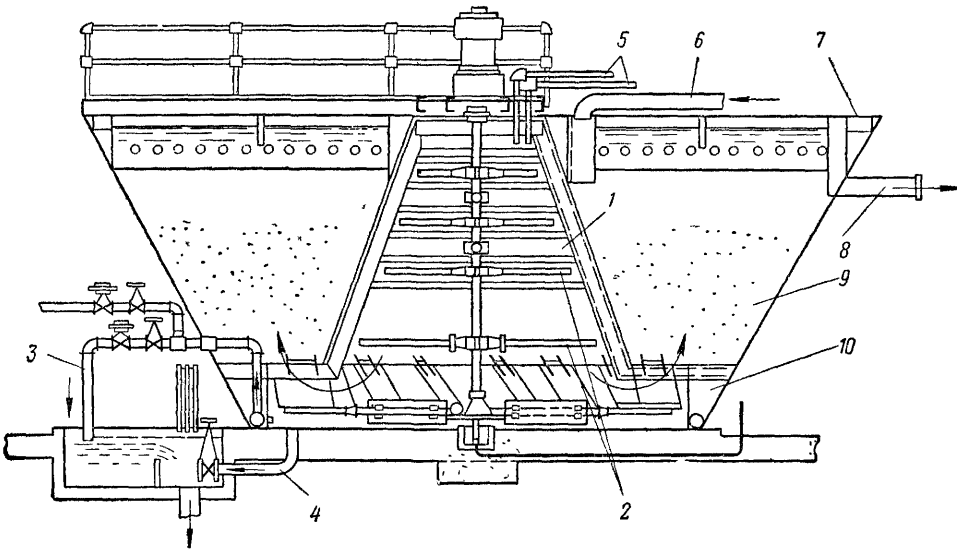


Рис. V.29

1 — механическая камера хлопьеобразования; *2* — мешалки; *3* — автоматическое удаление ила; *4* — дрены; *5* — трубки для подачи реагентов; *6* — труба для подачи воды, *7* — отводящий желоб; *8* — труба для отвода воды; *9* — зона взвешенного осадка; *10* — осадкоуплотнитель

пает в пространство, ограниченное снизу сплошным днищем и сверху дырчатым днищем. Высота слоя взвешенного осадка *3* обусловливается высотой расположения осадкоотводящих труб *4*, через которые избыток осадка поступает в поддонный осадкоуплотнитель *5*. В верхней центральной части осадкоуплотнителя располагается дырчатая кольцевая труба, присоединенная стояком *6* к кольцевому желобу *7*. Отсюда осветленная вода отводится по трубе *8*. На трубе *6* устанавливается задвижка *9* для регулирования отвода воды. Разность уровней воды в рабочей зоне осветлителя и в кольцевом сборном желобе обусловливает отсос воды из верхней части уплотнителя и, следовательно, принудительный отсос осадка в уплотнитель через трубы *4*. Для смыва осадка из осадкоуплотнителя подается вода по дырчатым трубам *10*; осадок удаляется по трубе *11*.

Этот осветлитель в настоящее время используется на станциях большой производительности при осветлении маломутных цветных вод.

Опыт эксплуатации показывает, что при значительной мутности осветляемых вод в результате засорения осадком отверстий дырчатого днища образуется скопление осадка и это препятствует нормальной работе осветлителей.

На рис. V.28 показана конструкция осветлителя (типа ЦНИИ-3), предложенная Е. Ф. Кургаевым. Осветляемая вода подается по трубе *1*

и поступает в нижнюю зону осветлителя через трубы *2*, снабженные соплами, сообщающими воде вращательное движение в горизонтальной плоскости. Сбор осветленной воды осуществляется системой желобов или перфорированных труб; осветленная вода отводится по трубе *3*. Реагенты подаются по трубкам *4* в нижнюю зону осветлителя. Осадок собирается в осадкоуплотнителе *5*, имеющем внизу дополнительный бункер *6*. Избыточная взвесь из взвешенного слоя отводится через окна *7*.

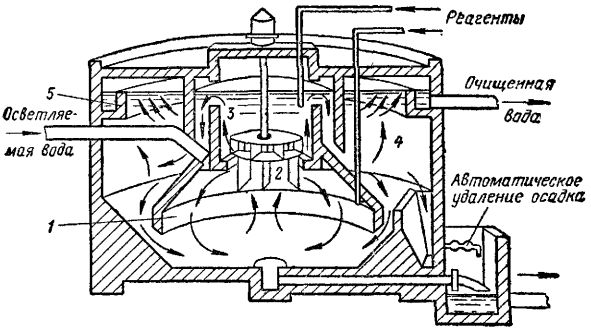


Рис. V.30

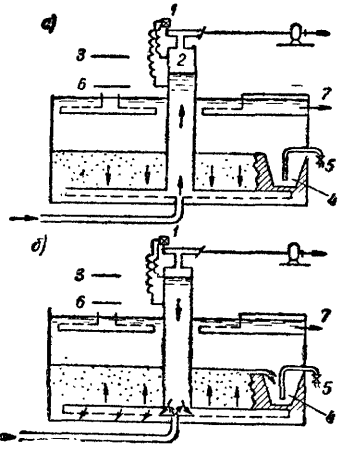


Рис. V.31

При больших диаметрах осветлителя (более 7 м) применяют дополнительные устройства *8* для отвода взвеси. Из осадкоуплотнителя осадок удаляется по трубе *9*. На рисунке показаны также дренажная решетка *10*, трубы для отсоса осветленной воды из осадкоуплотнителя *11*, донные клапаны осадкоуплотнителя *12*.

Осветлители этого типа нашли широкое применение в установках для осветления и реагентного умягчения воды теплоэнергетических станций.

Различные типы осветлителей используются в зарубежных странах. Так, в США широко применяются осветлители двух типов. Осветлитель первого типа (пресипитатор — рис. V.29) по принципу своего действия и устройству близок к осветлителям наших типов. Вода подается в механическую камеру хлопьеобразования, откуда поступает в рабочую камеру осветлителя, проходит через слой взвешенного осадка и отводится сборными желобами в отводящую трубу. В осветлителе второго типа (акселейтор, рис. V.30) вода подается в первичную камеру смешения *1*, туда же подаются и реагенты. При помощи специального механического приспособления *2* производится перемешивание воды в этой камере. Из камеры *1* вода вместе с хлопьями коагулянта переходит во вторичную камеру смешения *3* и затем в камеру осветления *4*. Здесь вода проходит через слой взвешенного осадка и отводится в верхней части резервуара при помощи периферийного желоба *5*. В этом сооружении происходит рециркуляция осадка, т. е. обратное поступление осадка из камеры осветления в камеру смешения.

Оба типа применяемых в США осветлителей имеют механические приспособления для перемешивания воды, что несколько осложняет условия их эксплуатации.

Во Франции разработан (обществом Дегремон) и применен на

многих станциях очистки воды в разных странах осветлитель-пульсатор с прерывистым действием. В нем чередуются два периода работы. Вначале (рис. V.31, *а*) воздушный клапан *1* закрыт, вода в колпаке *2* поднимается, вода в осветлителе неподвижна и из нее выпадает осадок. Когда поверхность воды в колпаке *2* достигнет уровня *3*, клапан *1* автоматически открывается, вода из колпака *2* устремляется через дренажные трубы в осветлитель снизу; слой осадка поднимается и его избыток поступает в сгуститель *4*, откуда удаляется через трубу *5* (рис. V.31, *б*). Когда поверхность воды в колпаке *2* опустится до уровня *6*, воздушный клапан *1* закрывается, и процесс повторяется. Осветленная вода удаляется по каналу *7*. По утверждению авторов при таком характере работы осветлителя эффект осветления увеличивается. В результате опыта эксплуатации этих осветлителей специалисты не пришли к единому мнению об их особых преимуществах.

§ 94. РАСЧЕТ ОСВЕТЛИТЕЛЕЙ

При расчете осветлителя заданными являются количество и качество исходной воды и требуемыи эффект осветления.

К основным величинам, обеспечивающим требуемый эффект работы осветлителя, относятся высота взвешенного слоя и скорость восходящего движения воды в этом слое.

Теории процесса осветления во взвешенном слое и устойчивости этого слоя разработаны Е. Н. Тетеркиным и Е. Ф. Кургаевым[1]. Эти исследователи дали освещение механизма осветления во взвешенном слое. Однако процессы, происходящие во взвешенном слое, крайне сложны. Взвешенный слой представляет собой полидисперсную массу, частицы которой находятся в хаотическом движении в восходящем потоке жидкости. Это затрудняет нахождение прямых численных соотношений между характеристиками требуемого эффекта осветления и основными параметрами взвешенного слоя. Поэтому при расчете осветлителей (в еще большей мере, чем при расчете других осветлительных сооружений) необходимо проведение специальных технологических анализов (технологического моделирования), т. е. экспериментального осветления воды данного качества на моделях осветлителей.

Опыт эксплуатации действующих осветлителей позволил установить пределы значений основных расчетных параметров, обеспечивающих хороший эффект осветления воды определенного качества. Эти рекомендуемые опытом пределы расчетных величин в настоящее время кладутся в основу проектирования осветлителей.

Строительные нормы и правила (СНиП II-Г.3-62), обобщая опыт эксплуатации осветлителей, рекомендуют принимать расчетные значения скорости восходящего движения в зоне осветления над слоем взвешенного осадка в зависимости от содержания взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель (табл. V.5). Приведенные в таблице скорости относятся к случаю обработки воды сернокислым алюминием, при использовании хлорного железа или сернокислого железа и извести рекомендуемые таблицей скорости можно увеличить на 10%.

Следует иметь в виду, что расчетное значение скорости надо принимать для периода наименьшего содержания взвешенных веществ в поступающей воде (так как при этом будет иметь место наименьшая плот-

[1] См. А А Кастальский, Д М Минц. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения М, «Высшая школа», 1962, Е. Ф. Кургаев. Основы теории и расчета осветлителей М., Госстройиздат, 1962.

Таблица V5

Содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель, в мг/л	Скорость восходящего движения воды v_0 в мм/с		Коэффициент распределения k
	в зимний период	в летний период	
10—100	0,7—0,8	0,9—1	0,8—0,75
100—400	0,8—1	1—1,1	0,75—0,7
400—1000	1—1,1	1,1—1,2	0,7—0,65
1000—2500	1—1,2	1,1—1,2	0,65—0,6

ность осадка во взвешенном слое и, следовательно, наибольшая опасность его разрушения скоростями восходящего потока).

Как было сказано ранее, большинство наших современных систем осветлителей предусматривает принудительный отсос осадка из верхней части взвешенного слоя. Это осуществляется отбором воды из осадкоуплотнителя.

Через взвешенный слой (см. рис. V.24) движется полное расчетное количество осветляемой воды Q; у верхней границы взвешенного слоя часть воды отделяется и уходит через окна в осадкоуплотнитель. Если часть воды, продолжающая восходящее движение в осветлителе (через так называемую зону осветления), равна kQ, то часть, уходящая в осадкоуплотнитель, будет равна $(1—k)Q$. Величину k называют коэффициентом распределения. Эта величина, назначаемая в зависимости от качества осветляемой воды, должна обеспечить удовлетворительный отсос осадка. При расчете осветлителей расчетные значения k следует принимать (в отличие от расчетного значения скорости) по наибольшей возможной мутности воды, когда количество отбираемого осадка будет максимальным. Рекомендуемые значения k также даны в табл. V.5.

Площадь поперечного сечения осветлителя в зоне осветления обычно принимают равной наибольшей его площади в зоне взвешенного слоя. Тогда, очевидно, скорость движения воды во взвешенном слое v (отнесенная к верхнему сечению) и в зоне осветления v_0 будет различна, и $v_0 = kv$. В нижней, конической части осветлителя скорость в различных поперечных сечениях также различна и достигает значения v в верхнем сечении. В табл. V.5 условно даны скорости v_0, т. е. скорости, относящиеся к зоне осветления (с учетом принятого коэффициента k).

По расчетному расходу воды Q и расчетной скорости v_0, принятой в соответствии с качеством осветляемой воды (согласно табл. V 5), может быть определена требуемая площадь поперечного сечения зоны осветления:

$$\omega_0 = \frac{kQ}{v_0}.$$

Площадь поперечного сечения (в плане) осадкоуплотнителя определяют как по условиям его гидравлической работы, так и по емкости, требуемой для приема осадка.

Исходя из количества осветляемой воды, поступающей через окна из осветлителя и подаваемой через верхнюю часть осадкоуплотнителя, площадь поперечного сечения осадкоуплотнителя должна быть равна:

$$\omega_{0\,у} = \frac{(1-k)Q}{v_0}.$$

Сумма площадей $\omega_0 + \omega_{0\,у}$ дает общую расчетную площадь Ω соору-

жения в плане. При назначении числа осветлителей по заданной общей производительности станции следует иметь в виду, что наибольшую общую площадь одного осветлителя обычно принимают не более 100—150 м². Однако в настоящее время у нас успешно работают осветлители и значительно большей площади.

Высоту слоя взвешенного осадка h_1 на основании опыта эксплуатации осветлителей рекомендуется принимать в пределах от 2 до 2,5 м. Высота h_1 отмеряется от нижнего уровня слоя взвешенного осадка *1—1* до уровня нижней кромки окон, отводящих осадок (см. рис. V.24). Нижний уровень взвешенного слоя характеризуется равенством скорости восходящего движения воды и скорости выпадения хлопьев осадка (в условиях стесненного осаждения). Строительные нормы рекомендуют принимать эту скорость равной 2 мм/с. Высота h_0 нижней зоны конической части осветлителя (см. рис. V.24), где скорости движения воды превышают скорости выпадения хлопьев осадка, составляет обычно 0,5—1 м.

Высоту зоны осветления h_2 рекомендуется принимать в пределах от 1,5 до 2 м.

Меньшие значения h_1 и h_2 принимают в установках для осветления мутных вод, бо́льшие — в установках для обесцвечивания воды.

Таким образом, общая высота осветлителя будет $H_{осв}=h_0+h_1+h_2$.

Площадь окон для отвода осадка рассчитывают по количеству воды $(1-k)\,Q$ и скорости ее прохождения через них (от 10 до 15 мм/с).

При использовании осадкоотводных труб в осветлителях с поддонным осадкоуплотнителем (см. например, рис. V.27) их диаметр определяют по тому же расходу воды и скорости 40—60 мм/с; верхний предел скорости — для случая тяжелых хлопьев после реагентного умягчения воды.

Нижняя кромка окон или входных отверстий осадкоотводных труб располагается на высоте $h_3=1{,}5—1{,}75$ м выше перехода стенок осветлителя из наклонных в вертикальные (для осветлителей с конической, пирамидальной или призматической нижней частью).

Объем зоны уплотнения осадка $W_{з.у}$, т. е. той части осадкоуплотнителя, которая находится ниже уровня нижней кромки осадкоотводных окон, определяют в зависимости от количества задерживаемого осадка и времени его уплотнения

$$W_{з.у}=\frac{Q\,(C_{макс}-C_0)}{1000\,\delta_{ср}}\,T,$$

где $C_{макс}$ — расчетное максимальное количество в мг/л взвешенных веществ, содержащихся в воде, включая и привносимые при ее обработке реагентами.

Время уплотнения осадка T рекомендуется принимать в пределах от 3 до 12 ч (нижний предел для вод мутностью более 40 мг/л и верхний предел при осветлении вод меньшей мутности и при обесцвечивании воды).

Таблица V.6

Наибольшее содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель, в мг/л	Средняя концентрация осадка $\delta_{ср}$ в г/л (кг/м³) после уплотнения в течение периода T в ч				
	3	4	6	8	12
До 100	6,5	7,5	8	8,5	9,5
100—400	19	21,5	24	25	27
400—1000	24	25	27	29	31
Более 1000	29	31	33	35	37

Средняя концентрация осадка $\delta_{ср}$ при различных периодах его уплотнения T и при различном качестве воды, поступающей в осветлитель, приводится в табл. V.6.

Для обеспечения сползания осадка обычно стенки нижней зоны осадкоуплотнителя устраивают наклонными под углом 50—60° к горизонту.

СНиП II-Г.3-62 дают рекомендации по определению размеров всех подводящих, распределительных и отводящих устройств для воды и осадка (труб, желобов и т. п.), которыми оборудуются осветлители.

Глава 20

ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ

§ 95. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ФИЛЬТРОВАНИИ ВОДЫ

Фильтрованием называется процесс прохождения осветляемой воды через слой фильтрующего материала. Фильтрование, так же как и отстаивание, применяют для осветления воды, т. е. для задержания находящихся в воде взвешенных веществ. Фильтрующий материал должен представлять собой пористую среду с весьма малыми порами. В водопроводной практике в качестве основного фильтрующего материала применяют песок.

Фильтр представляет собой резервуар, в нижней части которого расположено дренажное устройство той или иной конструкции для отвода профильтрованной воды. На дренаж обычно укладывают слой поддерживающего материала и затем слой собственно фильтрующего материала. При песчаных фильтрах поддерживающим материалом является гравий, уложенный слоями с возрастающей книзу крупностью зерен. В процессе фильтрования фильтр постоянно заполнен водой до уровня, расположенного не менее чем на 2 м выше поверхности фильтрующего материала. В обычных фильтрах вода подается сверху и отводится снизу — через дренажное устройство.

Производительность фильтра определяется скоростью фильтрования. Под скоростью фильтрования следует понимать не скорость движения воды в порах, а скорость вертикального движения воды над фильтрующим слоем. Скорость фильтрования определяют из соотношения

$$v = \frac{Q}{\omega},$$

где Q — количество воды, проходящей через фильтр в единицу времени;
ω — площадь фильтра.

В большинстве случаев фильтрование сочетают с другими методами очистки воды. Так, на станциях городских водопроводов фильтры обычно используют для обработки воды, прошедшей (после коагулирования) отстойники или осветлители. Фильтры применяют также для осветления воды при ее реагентном умягчении и обезжелезивании. В некоторых случаях фильтры используют для осветления природной некоагулированной воды, а также коагулированной воды без предварительного отстаивания [1].

[1] Особенности принципов работы и конструкции фильтров специальных типов даются в § 108 и 110.

По характеру механизма задержания взвешенных частиц можно различать два основных вида фильтрования:

а) фильтрование через фильтрующую пленку, образующуюся в процессе фильтрования частицами взвеси, выпадающими на поверхность загрузки;

б) фильтрование без образования на поверхности загрузки фильтрующей пленки.

При фильтровании первого вида на фильтре задерживаются первоначально только такие частицы взвеси, размер которых больше размера пор фильтрующего материала. Слой осадка (пленка), образующийся из задержанных частиц взвеси, сам по себе является фильтрующим материалом и играет основную роль в очистке воды, а песчаная загрузка фильтра служит поддерживающей опорой для отлагающихся на ее поверхности загрязнений.

Эффект осветления воды фильтрами при их работе по этому принципу постепенно увеличивается — по мере образования пленки над песком.

Фильтрование через поверхностную пленку является нормальным рабочим процессом фильтров, осветляющих воду без предварительной химической обработки ее коагулянтами. Этот процесс наиболее характерен для так называемых **медленных фильтров.** Медленные фильтры загружаются мелким песком и работают при малых скоростях фильтрования. Они способны обеспечить высокую степень осветления воды, задерживая мельчайшие частицы взвеси.

При фильтровании без образования поверхностной пленки задержание частиц, загрязняющих воду, происходит в толще слоя фильтрующей песчаной загрузки, где эти частицы извлекаются из воды и удерживаются на зернах песка под действием сил прилипания.

Не всякие частицы способны прилипать к зернам песка при фильтровании. Частицы, загрязняющие воду, обладают в естественном состоянии так называемой агрегативной устойчивостью, препятствующей как их взаимному слипанию — коагуляции, так и прилипанию к какой-либо поверхности. Однако после обработки воды коагулянтами агрегативная устойчивость взвешенных и коллоидных частиц устраняется, вследствие чего их способность к взаимному слипанию и прилипанию к зернам песка возрастает.

Фильтрование без образования поверхностной пленки является нормальным рабочим процессом **скорых фильтров**, осветляющих воду после химической обработки ее коагулянтами. В этом случае на фильтры поступает вода, содержащая агрегативно-неустойчивые частицы — мельчайшие хлопья, величина которых значительно меньше размера пор фильтрующей загрузки. Эти частицы свободно проникают с водой по поровым каналам в толщу песка, но задерживаются там под действием сил прилипания.

В фильтровании агрегативно-неустойчивой (способной к прилипанию) взвеси и состоит принцип скорого фильтрования. Только после предварительной химической обработки воды, в результате которой устраняется агрегативная устойчивость взвеси, можно получить на скорых фильтрах весьма высокий эффект осветления воды при высоких скоростях фильтрования.

Такая формулировка принципа скорого фильтрования была предложена Д. М. Минцем, который вместе со своими сотрудниками провел большую работу по исследованию очистки воды фильтрованием. Эти исследования способствовали развитию теоретических основ указанного метода.

§ 96. МЕДЛЕННЫЕ ФИЛЬТРЫ

Медленные фильтры могут применяться для фильтрования некоагулированной воды, содержащей относительно мелкую взвесь.

Скорость фильтрования на медленных фильтрах при содержании взвешенных веществ в исходной воде до 25 мг/л принимается равной 0,2 м/ч (до 0,3 м/ч — при выключении одного из фильтров на ремонт или промывку). При содержании взвешенных веществ в исходной воде от 25 до 50 мг/л скорость фильтрования соответственно принимают в пределах 0,2—0,1 м/ч. При столь малой скорости фильтрования медленные фильтры должны иметь весьма большую площадь. Это обусловливает их высокую строительную стоимость.

Таблица V.7

№ слоя сверху	Загрузочный материал	Крупность зерен в мм	Высота слоя в мм
1	Песок	0,3—1	1200
2	»	1—2	50
3	Гравий или щебень	2—4	100
4	То же	4—8	100
5	»	8—16	100
6	»	16—32	150

Медленные фильтры представляют собой бетонные или кирпичные резервуары.

В фильтрах площадью до 15 м^2 специального дренажа не устраивают. Сбор профильтрованной воды осуществляется через лоток в днище фильтра. При большей площади фильтра устраивают дренаж из перфорированных труб, кирпича или бетонных плит, укладываемых с прозорами.

Крупность зерен и высоту гравийных (поддерживающих) и песчаных (фильтрующих) слоев для медленных фильтров рекомендуется принимать в соответствии с табл. V.7.

Малая скорость фильтрования и малые размеры частиц взвеси способствуют созреванию фильтрующей пленки в течение 1—2 суток. Нормальная работа фильтра (от момента окончания созревания пленки до момента очистки) в медленных фильтрах продолжается 1—2 месяца. Для очистки с фильтра снимают загрязненный верхний слой песка толщиной 1—2 см. Очистка медленного фильтра при большой его площади является трудоемкой и дорогой операцией.

Медленные фильтры были первым типом фильтров, применявшихся в водопроводной практике. Достоинство их — весьма высокая степень осветления воды и высокий процент задержания бактерий (в современных установках обеззараживание воды проще и дешевле достигается ее хлорированием). Недостатками медленных фильтров являются их значительная строительная стоимость, большие размеры требуемой для их устройства площади и, наконец, сложность очистки.

Учитывая эти соображения, в СССР новые медленные фильтры в городских и производственных водопроводах теперь почти не строят. Строительные нормы рекомендуют их использование при относительно малой мутности исходной воды (до 50 мг/л), цветности до 50 град и отсутствии коагулирования. Медленные фильтры применяют в сельскохозяйственных водопроводах. Отсутствие реагентного хозяйства значительно упрощает обслуживание фильтров.

§ 97. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Фильтры, работающие по принципу скорого фильтрования, или «скорые фильтры», весьма широко применяются в практике очистки воды. Скорость фильтрования для этих фильтров принимается от 6 до

12 м/ч в зависимости от типа фильтров и крупности загрузки. Скорые фильтры используют для осветления мутных и цветных вод после коагулирования (и отстаивания), при реагентном умягчении, обезжелезивании и в некоторых других случаях.

При скором фильтровании значительно быстрее, чем при медленном, происходит загрязнение фильтра, требующее его очистки. Опыт работы скорых фильтров показывает необходимость их очистки 1—2 раза в сутки (а в паводки и чаще). При столь частой очистке фильтра весьма важно сократить до минимума требуемое для этого время и упростить самый процесс очистки.

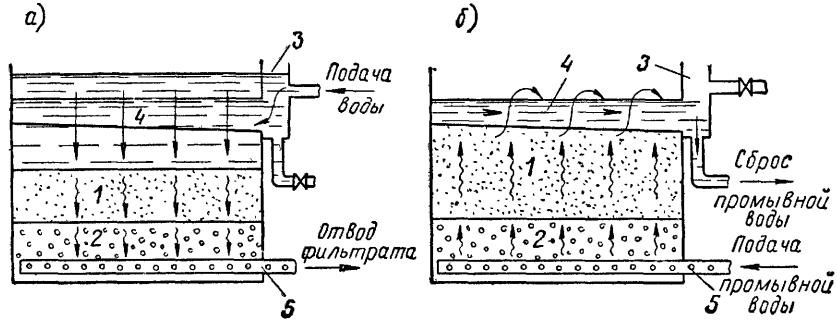


Рис. V.32

Очистку скорых фильтров производят путем промывки фильтрующего материала обратным током чистой воды, подаваемой снизу через дренаж и проходящей через слои гравия и песка. В некоторых установках для интенсификации процесса промывки песка применяют его механическое перемешивание (граблями, сжатым воздухом), дополнительную подачу воды на верхние слои фильтра (поверхностная промывка) и т. п.

Вода в процессе фильтрования может проходить через скорые фильтры:

а) самотеком — благодаря превышению уровня воды в фильтре над уровнем воды в резервуаре чистой воды (в который вода отводится);

б) под напором (обычно создаваемым насосами); фильтры в этом случае должны быть устроены в виде закрытых напорных резервуаров.

В соответствии с этими принципами работы различают фильтры самотечные и напорные.

Обычные самотечные скорые фильтры устраивают чаще всего в виде прямоугольных в плане железобетонных резервуаров.

На рис. V.32, *а* и *б* показаны схематически устройство и принцип работы скорого фильтра. Здесь *1* — фильтрующий слой песка и *2* — поддерживающие его слои гравия. Вода поступает на фильтр через карман *3* и желоба *4*, проходит через слои песка и гравия и отводится при помощи дренажных устройств *5*, расположенных в нижней части фильтра.

При промывке (рис. V.32, *б*) фильтр выключается из работы, промывная вода подается снизу через дренажные устройства и проходит слои гравия и песка в обратном направлении. Скорость прохождения через фильтр промывной воды в несколько раз больше скорости фильтрования. Вода взмучивает песок и интенсивно отмывает его от поступивших в процессе фильтрования загрязнений. Промывная вода отво-

дится через желоба *4*. Борт желобов должен быть расположен на такой высоте над поверхностью песка, чтобы при данной интенсивности промывки в желоб вместе с промывной водой не мог быть вынесен песок той крупности, которую имеет загрузка фильтра. Промывка длится 5—7 мин.

§ 98. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ ВОДЫ НА СКОРЫХ ФИЛЬТРАХ

При проектировании фильтровальных установок заданными являются количество осветляемой воды, качество воды, поступающей на фильтры (в частности, содержание в ней взвешенных веществ, их физико-химические свойства, крупность частиц взвеси), и требуемая степень осветления. Величина располагаемого напора, обусловливающего движение воды через открытые фильтры, определяется в связи с компоновкой всей станции и обычно также задается при расчете фильтров.

При проектировании и расчете фильтров должны быть определены толщина фильтрующего слоя (при определенном фильтрующем материале), скорость фильтрования и оптимальная длительность периода работы фильтра между промывками Поэтому весьма важно установить зависимость между всеми основными параметрами работы фильтра и заданными расчетными величинами.

Правильный выбор этих параметров, находящихся во взаимосвязи, имеет большое экономическое значение, так как он должен обеспечить оптимальное соотношение затрат на строительство и эксплуатацию станции.

Период работы фильтра между промывками (длительность фильтроцикла) определяется из двух условий. Во-первых, загрязнение фильтрующего материала в процессе работы приводит к увеличению в нем потерь напора. Эти потери могут возрастать до тех пор, пока через определенный промежуток времени $T_н$ они не превысят располагаемого напора. Во-вторых, при увеличении загрязнения частиц фильтрующего материала происходит увеличение скоростей движения воды в порах, что ведет к частичному выносу осевших в порах частиц взвеси, содержащейся в фильтруемой воде. В результате этого качество фильтрата начинает ухудшаться. Таким образом, вторым критерием назначения длительности фильтроцикла является период времени $T_з$, в течение которого гарантируется требуемое качество фильтрата (продолжительность «защитного действия» загрузки фильтра). Как значение $T_н$, так и значение $T_з$ зависит от качества воды, характеристик взвеси, загрузки фильтра и скорости фильтрования.

Очевидно, что для наиболее экономично запроектированного фильтра должно соблюдаться равенство

$$T_з = T_н.$$

Однако в целях обеспечения определенных санитарных качеств фильтрата целесообразно, чтобы $T_з$ было несколько больше $T_н$. Рекомендуется принимать

$$\frac{T_з}{T_н} = 1{,}2—1{,}5.$$

Рассмотрим некоторые теоретические соображения о зависимости значений $T_з$ и $T_н$ от основных параметров процесса фильтрования воды и о взаимной связи этих параметров.

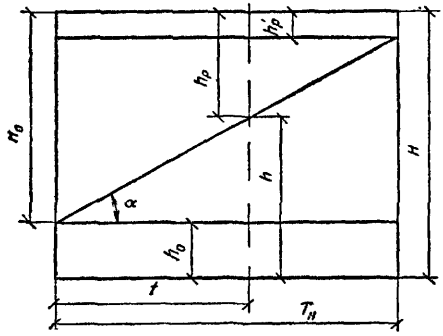


Рис. V.33

Количество воды, проходящей через фильтр (а следовательно, и скорость фильтрования), в открытых скорых фильтрах поддерживается, как правило, постоянным во все время работы фильтра при помощи специальных регулирующих устройств. Поэтому потери напора в самом фильтре зависят всецело от его гидравлического сопротивления. В процессе работы фильтра происходит отложение в его порах загрязнений, и, следовательно, гидравлическое сопротивление и потери напора в фильтре h возрастают во времени. Предельно допустимые потери напора в фильтре H лимитируются разностью уровней воды над фильтром и в резервуаре чистой воды. Очевидно, что значение H равно разности указанных уровней за вычетом потерь напора в трубопроводах и арматуре, через которые отводится вода с фильтра.

Обозначим переменное значение потерь напора в фильтре через h (рис. V.33). По оси абсцисс будем откладывать время и примем (как это показывает опыт), что значение h возрастает во времени по линейному закону.

Начальное значение $h=h_0$ будет соответствовать потерям напора в чистом фильтре. В любой промежуточный момент работы фильтра

$$h = h_0 + \Delta h t,$$

где Δh — прирост потерь напора в единицу времени;
t — время, прошедшее с начала фильтроцикла.

Очевидно, что когда значение h достигает своего предела $H - h'_р$, необходима промывка фильтра. Время $T_н$, прошедшее до этого момента от начала работы фильтра, составит длительность полезной работы фильтра.

Величины H_0, $h_р$ и $h'_р$ — потери напора в регуляторе скорости фильтрования в разные периоды фильтроцикла (см. далее § 105).

Чем скорее идет нарастание потерь напора в фильтре, тем короче будет период $T_н$. Если потери напора возрастают в единицу времени на Δh, то, очевидно, длительность периода $T_н$ может быть определена по формуле

$$T_н = \frac{H - h_0 - h'_р}{\Delta h},$$

где $h'_р$ — потери напора в полностью открытом регуляторе.

В выражение для $T_н$ входят две подлежащие исследованию величины: потери напора в чистом фильтре h_0 и интенсивность нарастания потерь напора в фильтре при отложении в нем загрязнений Δh. Рассмотрим отдельно обе эти величины.

Потери напора в чистом фильтре. Потери напора в чистом фильтрующем слое зависят от толщины слоя L, крупности и формы зерен фильтрующего материала, его пористости m, а также от скорости u движения воды в порах и вязкости воды μ.

Рассматриваемая здесь формула для определения потерь напора

в чистом фильтрующем слое была выведена Д. М. Минцем при помощи методов теории подобия и размерностей[1] на основании обработки большого числа опытных данных.

Из теории размерностей следует, что коэффициент сопротивления при движении воды через чистый фильтрующий слой

$$\eta = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{l}{\rho u^2}$$

должен зависеть от числа Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = \rho \frac{ul}{\mu}.$$

Здесь ΔP — перепад давления в слое фильтрующего материала; ρ — плотность воды; l — характерный линейный размер пористой среды.

Скорость u связана со скоростью фильтрования v простым соотношением

$$u = \frac{v}{m},$$

где m — пористость.

В качестве характерного линейного размера пористой среды может быть принят гидравлический радиус, равный отношению площади живого сечения потока к смоченному периметру. Площадь живого сечения потока определяется суммарной площадью сечений поровых каналов, а смоченный периметр — суммой периметров поперечных сечений зерен материала. Суммарная площадь поперечных сечений поровых каналов пропорциональна пористости m. Сумма периметров поперечных сечений зерен пропорциональна удельной поверхности зерен, т. е. поверхности зерен ω в единице объема фильтрующего материала. Тогда $l = m/\omega$. Для загрузки, состоящей из зерен с эквивалентным диаметром $d_э$:

$$\omega = \frac{6(1-m)\alpha}{d_э}.$$

Здесь α — так называемый коэффициент формы, учитывающий отличие формы зерен песка от шарообразной.

Подставив полученные выражения для u, l и ω в выражения для η и Re, получим

$$\eta = \frac{\Delta P m^3 d_э}{L\rho v^2 6\alpha(1-m)}; \quad \mathrm{Re} = \frac{\rho v d_э}{6\mu\alpha(1-m)}.$$

Величина $\Delta P/L$ представляет собой перепад давления в фильтрующем слое на единицу его толщины. Потери напора на единицу толщины фильтрующего слоя будут, очевидно, равны:

$$i_0 = \frac{\Delta P}{L\gamma}$$

и, следовательно,

$$\frac{\Delta P}{L} = i_0\gamma,$$

где γ — удельный вес воды.

[1] Д. М. Минц, С. А. Шуберт. Гидравлика зернистых материалов. М., Изд-во МКХ РСФСР, 1955.

Введя в формулу, определяющую η, вместо $\Delta P/L$ его выражение через i_0, получим

$$i_0 = \frac{6\alpha(1-m)\rho v^2}{m^3 \gamma d_э}\eta.$$

Используя обширный экспериментальный материал, Д. М. Минц нашел, что при $Re<2$ коэффициент сопротивления η может быть описан (в системе СГС) формулой $\eta=5{,}2/Re$. Эта зависимость выражает собой линейный закон фильтрации воды на скорых фильтрах.

Подставляя сюда приведенное выше выражение для Re, вводя получаемое выражение η в формулу для i_0 и принимая γ воды$=$ $=1000$ кгс/м^3, получим

$$i_0 = \frac{0{,}188\alpha^2\mu(1-m)^2}{d_э^2 m^3}v.$$

Если выделить все величины, характеризующие пористость загрузки фильтра и вязкость воды, в коэффициент

$$\psi = \frac{0{,}188\alpha^2\mu(1-m)^2}{m^3},$$

то получим

$$i_0 = \psi\frac{v}{d_э^2}$$

и потери напора в чистом фильтрующем слое

$$h_0 = i_0 L = \psi\frac{vL}{d_э^2}.$$

Если принимать в приведенной формуле v в м/ч и $d_э$ в мм, то

$$\psi = \frac{\alpha^2\mu(1-m)^2}{1{,}9m^3}.$$

Значения коэффициента формы α можно принимать:

для окатанного речного песка	1,17
» остроугольного кварцевого песка	1,5—1,67
» антрацита	1,5—2,52

Анализ последнего выражения для i_0 показывает, что единичные потери напора в чистом фильтрующем слое увеличиваются пропорционально скорости фильтрования и значительно возрастают при уменьшении величины зерен и пористости фильтрующего материала. Кроме того, единичные потери напора возрастают с увеличением вязкости воды, т. е. с уменьшением ее температуры.

Наконец, полученные формулы можно представить в виде

$$i_0 = s_0 v \quad \text{и} \quad h_0 = s_0 L v = sv,$$

где s_0 — удельное сопротивление чистой загрузки, равное

$$s_0 = \frac{\psi}{d_э^2} = 0{,}188\frac{\mu\alpha^2}{d_э^2}\cdot\frac{(1-m)^2}{m^3},$$

и $s=s_0 L$ — полное сопротивление чистого слоя.

Интенсивность нарастания потерь напора в фильтре при фильтровании суспензии. При прохождении через слой фильтрующего материала воды, содержащей взвешенные вещества, последние будут отлагаться на зернах загрузки, изменяя ее пористость m и суммарную поверхность ω, омываемую потоком воды.

Анализируя приведенные выше формулы для i и ω, можем получить следующее соотношение единичных потерь напора i_0 и i для начального и любого промежуточного момента работы фильтра:

$$\frac{i}{i_0} = \left(\frac{m_0}{m}\right)^3 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2.$$

Здесь ω_0 и ω — соответственно суммарная поверхность зерен фильтрующего материала в начальный и промежуточный моменты работы фильтра при фильтровании суспензий.

По мере накопления отложений в толще зернистой загрузки ее пористость все время уменьшается.

Что касается поверхности, омываемой потоком, то можно предположить, что она изменяется сравнительно мало. Действительно, с одной стороны, прилипающие к зернам песка частицы взвеси увеличивают омываемую потоком воды поверхность, с другой стороны, отложения на отдельных зернах, разрастаясь, соединяются между собой, и целые участки пространства, в которых ранее происходило движение воды, попадают в «мертвую» зону, где движение воды не происходит, и в результате поверхность, омываемая потоком воды, уменьшается. Учитывая это обстоятельство, Д. М. Минц предложил принимать величину $(\omega/\omega_0)^2 = 1$ и получил формулу:

$$i = i_0 \left(\frac{m_0}{m}\right)^3$$

или

$$i = i_0 \left(\frac{m_0}{m_0 - \Delta m}\right)^3,$$

где Δm — удельный объем осадка, накопившегося в фильтрующем слое к данному моменту.

Из этой формулы видно, что приращение гидравлического уклона при заилении фильтра пропорционально начальной величине гидравлического уклона i_0.

Так как загрязнения распределяются неравномерно по толще загрузки, то и приращение гидравлического уклона будет различным для различных слоев фильтрующего материала.

Потери напора по всей толщине L загрузки могут быть выражены интегралом

$$h = \int_0^L i\,dx = i_0 \int_0^L \left(\frac{m_0}{(m_0 - \Delta m)}\right)^3 dx.$$

Значение полученного интеграла зависит от количества задержанного вещества и характера его распределения по толще загрузки, что может быть определено экспериментальным путем.

На основании многочисленных экспериментов установлено, что относительный прирост потерь напора в фильтре за расчетный период

$$\frac{\Delta h_{T_н}}{h_0} = \gamma' \varphi \frac{T_н d_э^{0,5}}{L},$$

где $\Delta h_{T_н} = H - h_0 - h'_р$.

Параметр γ'; учитывающий влияние свойств воды и взвеси (включая ее концентрацию), определяется пробным фильтрованием.

Параметр φ, характеризующий загрузку фильтра, находится в зависимости от коэффициента неоднородности загрузки.

Определяя отсюда время $T_н$ работы фильтра до полного исчерпания располагаемого напора H и подставляя вместо h_0 его значение, полученное ранее, будем иметь

$$T_н = \frac{1}{\gamma' \varphi d_э^{0,5}} \left[\frac{(H - h_р') d_э^2}{\psi v} - L \right].$$

Рассмотрение этой формулы показывает, что длительность периода работы фильтра между промывками уменьшается с увеличением скорости фильтрования, с уменьшением крупности загрузки и с увеличением толщины слоя загрузки. Кроме того, длительность цикла тем меньше, чем больше концентрация взвешенных веществ в поступающей на фильтр воде.

Отношение концентрации взвеси в воде в данный момент процесса фильтрования C к начальной концентрации C_0, т. е. C/C_0, может быть выражено (как показывают исследования, проведенные в Академии коммунального хозяйства проф. Д. М. Минцем [1]) в функции некоторых параметров

$$X' = b'L \text{ и } T' = a'vt,$$

где L — толщина слоя; v — скорость фильтрования; t — время.

При этом для заданного значения C/C_0 может быть получена (экспериментальным путем) следующая линейная связь между этими параметрами:

$$X' = kT' + X_0'. \qquad (V.4)$$

Кроме того, параметры X' и T' могут быть выражены через скорость v, эквивалентный диаметр загрузки $d_э$ и толщину фильтра L так:

$$X' = \frac{L}{v^{0,7} d_э^{1,7}} \text{ и } T' = \frac{tv}{d_э}.$$

Значения X_0' и k находятся пробным фильтрованием для данной воды и для заданной степени осветления.

Если подставить в уравнение (V.4) приведенные выражения для X' и T', то можно получить искомую величину времени $t = T_з$, т. е. длительность защитного действия загрузки для обеспечения заданной степени осветления:

$$T_з = \frac{1}{k} \left(\frac{L}{v^{1,7} d_э^{0,7}} - \frac{X_0' d_э}{v} \right).$$

Отсюда видно, что $T_з$ возрастает с увеличением толщины фильтра L и уменьшается с увеличением скорости фильтрования и крупности зерен фильтрующего материала.

Приведенные формулы для расчета $T_н$ и $T_з$ одновременно устанавливают взаимосвязь между всеми основными параметрами фильтрования t, L, v и $d_э$ и в зависимости от постановки задачи позволяют задаваться одними из них и находить другие.

---

[1] А. А. Кастальский, Д. М. Минц. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., «Высшая школа», 1962.

§ 99. ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ЗАГРУЗКА СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Фильтрующий материал для загрузки фильтров должен обеспечивать требуемую пористость, обладать достаточной механической прочностью против истирания в процессе промывки и достаточной химической устойчивостью против растворяющего действия воды. Этим требованиям хорошо удовлетворяет речной кварцевый песок, который и является основным фильтрующим материалом, употребляемым при осветлении воды. Крупность зерен фильтрующего материала, как мы видим, тесно связана с основными расчетными параметрами работы фильтра и различна для разных типов фильтров.

Всякий фильтрующий материал обладает определенной неоднородностью размеров зерен, и для его характеристики служат так называемые средний диаметр $d_{ср}$, эквивалентный диаметр $d_э$ и коэффициент неоднородности $K_н$, определяемые в результате механического (ситового) анализа песка[1].

Средний диаметр $d_{ср}$ исследуемого песка есть диаметр его зерен, мельче которых в данном количестве песка содержится 50% (по массе) всех зерен.

Эквивалентный диаметр

$$d_э = \frac{100}{\sum \frac{P_i}{d_i}},$$

где P_i — процентное содержание фракций со средним диаметром зерен d_i.

Коэффициент неоднородности $K_н = d_{80}/d_{10}$, т. е. отношение калибра сита, через которое проходит 80% исследуемого песка, и калибра сита, пропускающего 10% того же песка, выражает степень неоднородности фильтрующего материала.

Анализ приведенных на стр. 290 формул показывает, что сохранение требуемого эффекта фильтрования может быть достигнуто при различной крупности зерен фильтрующего материала при условии одновременного изменения толщины фильтрующего слоя. Чем крупнее используемый для фильтров песок, тем больше должна быть толщина фильтра.

На основе опыта эксплуатации фильтровальных станций в СНиП II-Г.3-62 приведены рекомендуемые характеристики загрузки скорых фильтров и соответствующие значения высоты слоя фильтрующего материала.

В установках для осветления (и обесцвечивания) воды для хозяйственно-питьевых водопроводов наиболее часто используют песок с $d_э = 0{,}7$—$0{,}8$ мм при толщине слоя 0,7 м. Допускается также использование песка с $d_э = 0{,}9$ мм при толщине слоя 1,2—1,3 м и с $d_э = 1{,}1$—$1{,}2$ мм при толщине слоя 1,8—2 м.

Более крупный песок применяют для фильтрования воды в производственных установках и в предварительных фильтрах.

Весьма часто выбор фильтрующего материала ограничивается возможностями его получения на месте строительства и приходится применительно к местному наиболее дешевому материалу назначать параметры фильтрования (высоту слоя, скорость).

---

[1] О методах ситового анализа песка см. А. А. Кастальский, В. А. Клячко. Фильтры водоподготовительных установок. М., Госэнергоиздат, 1963, стр. 11—20.

В последние годы институтом ВОДГЕО были предложены и с успехом применены фильтры с двухслойной загрузкой. В этих фильтрах поверх слоя кварцевого песка толщиной 40—50 см с размером зерен 0,5—1,2 мм уложен слой дробленого антрацита толщиной также 40—50 см с размером зерен 0,8—1,8 мм. Подобное устройство фильтров позволяет увеличить их грязеемкость (благодаря увеличению зерен верхнего слоя фильтра) в 2—2,5 раза по сравнению с обычными песчаными фильтрами и повысить скорость фильтрования до 9—10 м/ч или соответственно удлинить рабочий период.

После промывки слой антрацита благодаря малому весу остается вверху.

Слой фильтрующего материала обычно располагается на поддерживающих слоях гравия или щебня.

Таблица V 8

№ слоя сверху	Пределы крупности гравия в мм	Толщина слоя в мм
1	2—4	50
2	4—8	100
3	8—16	100
4	16—32	100

Поддерживающие слои имеют конструктивное значение, одновременно препятствуя выносу зерен фильтрующего материала в дренажную систему. Крупность гравия или щебня в верхних слоях должна быть близкой к крупности зерен фильтрующего материала, а в нижних слоях принимается в зависимости от конструкции дренажа. Для наиболее распространенного типа дренажа (большого сопротивления) параметры поддерживающих слоев рекомендуется принимать согласно табл. V 8.

Имеется ряд конструкций дренажей (см. далее), в которых поддерживающие слои отсутствуют.

§ 100. МЕТОДЫ РАСЧЕТА СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Одной из основных задач, решаемых при проектировании фильтровальных станций, является определение требуемой площади фильтров. Площадь отдельного фильтра может быть, очевидно, определена по формуле

$$\omega = \frac{Q}{v}.$$

Здесь Q — расчетный нормальный расход воды, приходящийся на один фильтр, в м³/ч, принимаемый в соответствии с заданной полезной производительностью станции в целом и принятым по технико-экономическим соображениям числом фильтров (см. § 104).

Расчетная скорость фильтрования воды v при нормальном режиме работы фильтра зависит от целого ряда факторов.

Задачей фильтра является обеспечение заданной степени осветления воды. Эта задача может быть выполнена при различных сочетаниях следующих основных параметров: а) скорости фильтрования, б) характеристики фильтрующего материала (гранулометрический состав и толщина слоя), в) длительности периода работы фильтра между промывками.

Технико-экономический анализ позволил установить рекомендуемые при нормальной работе фильтров пределы продолжительности рабочего цикла (8—12 ч). При соблюдении указанной длительности фильтроцикла расчетная скорость фильтрования будет в основном зависеть от характеристики фильтрующего материала.

Режим работы фильтровальных станций обусловливает необходи-

мость периодического повышения количества воды, подаваемой на фильтр, до $Q_ф$ и, следовательно, форсирования скорости фильтрования до некоторого значения

$$v_ф = \frac{Q_ф}{\omega}.$$

Форсирование работы фильтров возникает при выключении на ремонт одного (при общем числе фильтров до 20) или двух (при их общем числе более 20) фильтров.

При этом длительность рабочего цикла при форсированном режиме не должна быть менее 6 ч.

На основании опыта проектирования и эксплуатации фильтровальных станций в СНиП II-Г.3-62 даются рекомендуемые расчетные скорости фильтрования при нормальном режиме v и допустимые скорости при форсированном режиме $v_ф$ в зависимости от принятой характеристики загрузки (табл. V.9). По этим данным (при отсутствии данных пробного фильтрования) можно подобрать значения v и $v_ф$ и определить значения ω.

Таблица V.9

Вид скорого фильтра	Характеристика фильтрующего материала					Расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме v в м/ч	Допустимая скорость фильтрования при форсированном режиме $v_ф$ м/ч
	диаметр зерен в мм			коэффициент неоднородности $K_н$	толщина слоя в м		
	минимальный	максимальный	эквивалентный $d_э$				
С однослойной загрузкой различной крупности	0,5	1,2	0,7—0,8	2—2,2	0,7	6	7,5
	0,7	1,5	0,9—1	1,8—2	1,2—1,3	8	10
	0,9	1,8	1,1—1,2	1,5—1,7	1,8—2	10	12
С двухслойной загрузкой:							
кварцевый песок	0,5	1,2	0,8	2	0,4—0,5	10	12
антрацит	0,8	1,8	1,1	2	0,4—0,5	10	12

Слой воды над поверхностью песка в открытых скорых фильтрах принимают не менее 2 м, а общий расчетный напор обычно равным 3 м.

Пробное фильтрование воды, подлежащей осветлению, при условии намеченной химической обработки ее дает возможность получить ряд параметров, позволяющих уточнить значения v и L, определить значение $T_з$ и проверить отношение $T_з/T_н$ (см. § 98).

Все эти расчеты могут быть выполнены в соответствии с приведенными выше теоретическими соображениями. Порядок проведения этих расчетов может быть следующим.

1. В основу расчета принимается характеристика имеющегося фильтрующего материала ($d_э$, d_{20}, пористость m, коэффициент формы α).

2. Пробным фильтрованием определяются параметры k, X_0' и γ'.

3. Для принятой загрузки вычисляется параметр

$$\psi = \frac{\alpha^2 \mu (1-m)^2}{1{,}9 m^3},$$

где μ — вязкость воды, принимаемая в зависимости от ее температуры.

4. Пользуясь графиком на рис. V.34, определяют значение φ для заданного отношения $d_{20}/d_э$.

5. Вычисляют желательную толщину слоя фильтрующего материала

$$L = \frac{\left(H - h'_{\text{р}}\right) d_{\text{э}}^2}{\psi v} - \gamma' \varphi T_{\text{н}} \sqrt{d_{\text{э}}}.$$

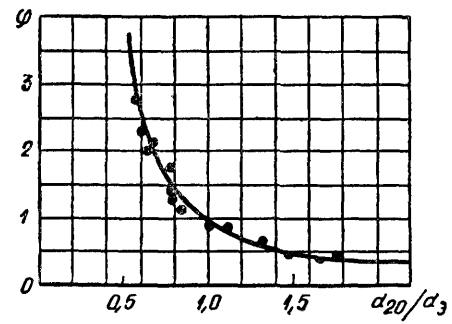


Рис V.34

Здесь $H - h'_{\text{р}}$ принимают в рекомендуемых пределах — около 3 м и задаются (в первом приближении) значением скорости v, например по указаниям СНиП II-Г.3-62 (см. табл. V.9).

6. По номограмме на рис. V.35 определяют величину X' в зависимости от $d_{\text{э}}$, v и L.

7. Вычисляют время защитного действия загрузки

$$T_{\text{з}} = \frac{d_{\text{э}}}{kv}\left(X' - X'_0\right).$$

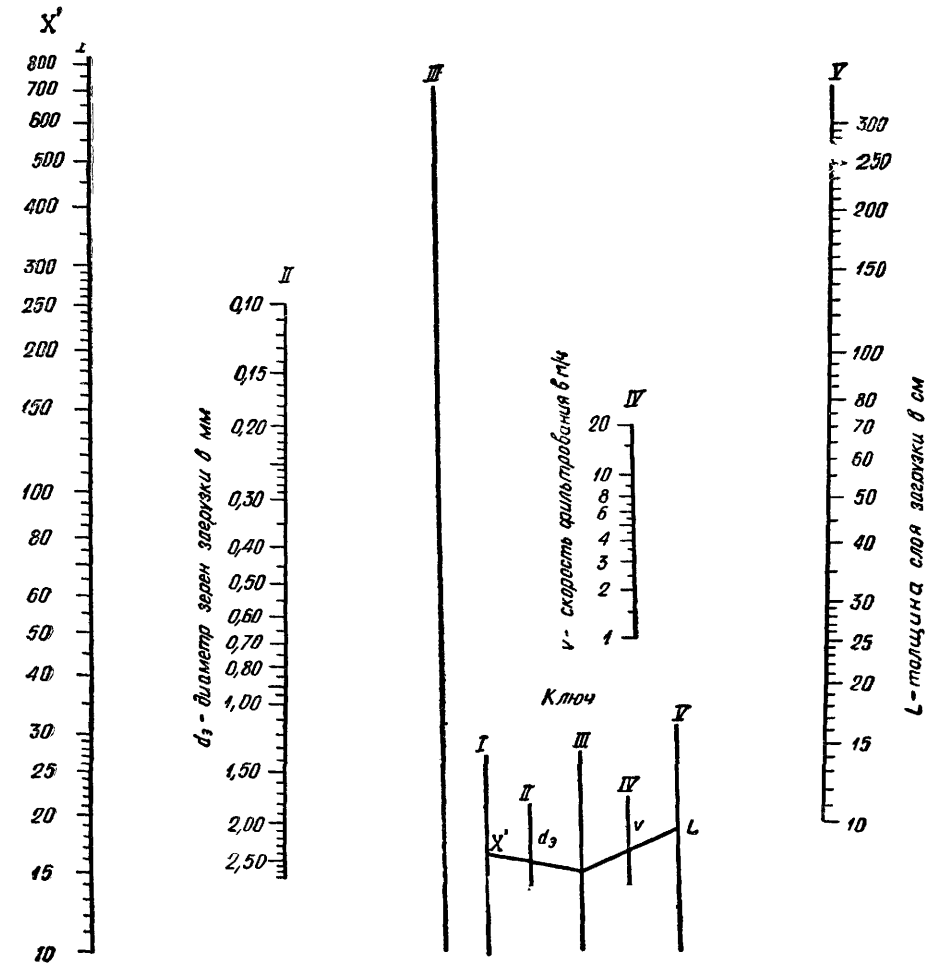


Рис. V.35

8. Находят отношение $T_з/T_н$, в котором значение $T_н$ принимают в соответствии с нормативами. Если отношение не выходит за рекомендуемые пределы (1,2—1,5), то полученные величины v и L могут быть приняты. Если же $T_з/T_н$ выходит из установленных пределов, то необходимо изменить скорость v в формуле для L, вычислить новое значение L и соответствующее ему новое значение $T_з$. Эти вычисления следует выполнять до тех пор, пока отношение $T_з/T_н$ не будет соответствовать оптимальному.

§ 101. ДРЕНАЖНЫЕ (РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ) СИСТЕМЫ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Дренажная система фильтра является одним из важнейших его элементов. Дренаж должен обеспечить равномерный по всей площади фильтра отвод фильтруемой воды, предотвратить унос зерен фильтрующего материала и, что важнее всего, обеспечить равномерное распределение по всей площади фильтра промывной воды (в связи с чем эти системы называют также распределительными).

Неравномерное поступление промывной воды, подаваемой с большими скоростями, может привести к неравномерной и неудовлетворительной промывке фильтра, вызвать сдвиг поддерживающих слоев и нарушить правильную работу фильтра.

Для обеспечения равномерности подачи промывной воды, т. е. одинаковой интенсивности промывки по всей площади фильтра, были предложены различные методы и различные конструкции дренажей. Достаточная степень равномерности промывки может быть достигнута при устройстве дренажей большого сопротивления.

а. Принцип действия дренажей большого сопротивления

Рассмотрим схематический вертикальный разрез фильтра (рис. V.36). Вода, подаваемая для промывки, идет по распределительной системе и проходит последовательно отверстия в дренажных устройствах, поддерживающий слой и слой фильтрующего материала. Рассмотрим два произвольно выбранных пути промывной воды OA и $OБ$ от точки ввода O до поверхности фильтра.

Одинаковая интенсивность промывки фильтра на путях OA (I) и $OБ$ (II) может быть обеспечена только в том случае, если на этих путях вода будет встречать равные сопротивления. Суммарное сопротивление на каждом из намеченных путей воды будет слагаться из сопротивления в распределительной системе дренажа s_1, сопротивления в отверстиях дренажа s_2, сопротивления в поддерживающем слое s_3 и сопротивления в слое фильтрующего материала s_4 (отнесенных условно к единице площади фильтра).

Сопротивления s_3 и s_4 в различных местах фильтра неодинаковы ввиду неравномерного загрязнения песка и неоднородности состава поддерживающего слоя. Сопротивление в распределительной системе s_1 различно на путях I и II вследствие различной их длины. Только сопротивление s_2 будет одинаково на любом пути воды при условии точного выполнения в натуре размеров отверстий в дренажной системе и одинаковых расходов воды через все отверстия.

Таким образом, суммарные величины сопротивлений на пути *I*:

$$\Sigma s_I = s_1^I + s_2 + s_3^I + s_4^I$$

и на пути *II*:

$$\Sigma s_{II} = s_1^{II} + s_2 + s_3^{II} + s_4^{II}$$

при промывке фильтра будут неодинаковы.

Суммарные потери напора H_I и H_{II} на тех же путях будут равны, так как давление в начальной точке этих путей (в точке *O*) одинаково, одинаковы также и давления в конечных точках, лежащих в одной горизонтальной плоскости.

Суммарные потери напора на путях *I* и *II* могут быть представлены в таком виде[1]:

$$H_I = \Sigma s_I q_I^2; \quad H_{II} = \Sigma s_{II} q_{II}^2,$$

где Σs — суммарное сопротивление, отнесенное к единице поверхности фильтра;

q — интенсивность промывки (количество воды, подаваемой на 1 м² поверхности фильтра) в л/с.

Так как $H_I = H_{II}$, то $\Sigma s_I q_I^2 = \Sigma s_{II} q_{II}^2$, откуда

$$\frac{q_{II}}{q_I} = \frac{\sqrt{\Sigma s_I}}{\sqrt{\Sigma s_{II}}} = \frac{\sqrt{s_1^I + s_2 + s_3^I + s_4^I}}{\sqrt{s_1^{II} + s_2 + s_3^{II} + s_4^{II}}} = \beta.$$

Так как суммарные сопротивления на различных путях движения воды неодинаковы, то $q_I \neq q_{II}$, т. е. интенсивность промывки не будет равномерна по всей площади фильтра.

Величина $\beta = q_{мин}/q_{макс}$ выражает степень неравномерности распределения промывной воды по площади фильтра.

Увеличивая сопротивление в отверстиях дренажа s_2, можно получить значение β, достаточно близкое к единице. Обычно считают приемлемым $\beta = 0{,}95$.

На изложенном принципе основано устройство дренажей большого сопротивления.

б. Конструкции дренажей большого сопротивления

Дренажи большого сопротивления имеют наибольшее распространение в современных фильтровальных установках.

Рассмотрим некоторые наиболее широко применяемые конструкции таких дренажей.

Трубчатый дренаж. Этот дренаж (рис. V.37) представляет собой систему труб (чугунных или стальных), укладываемых на дно фильтра в нижних слоях гравия. Обычно по дну каждого отдельного фильтра укладывается одна магистральная труба *ОБ* с присоединенными к ней с обеих сторон ответвлениями из труб меньшего диаметра. В ответвлениях имеются отверстия, направленные вниз под углом около 45° к вертикали. Струи воды, вытекающие из отверстий при промывке, ударяются о дно фильтра и, отражаясь, создают равномерно восходящие токи воды в толще поддерживающего материала и песка.

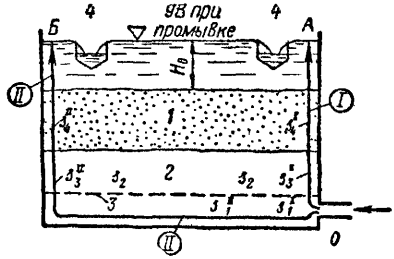
На рис. V.38 показана схема устройства трубчатой дренажной системы большого сопротивления без горизонтальной компенсации.

Разновидностью трубчатого дренажа, допускающей укладку фильт-

[1] Для упрощения принимается квадратичный закон сопротивления во всех звеньях системы.

Рис. V.36

1 — песок; *2* — материал поддерживающего слоя; *3* — дренаж; *4* — желоба



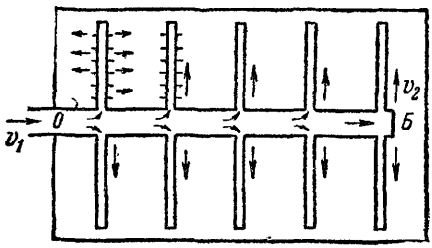


Рис. V.37

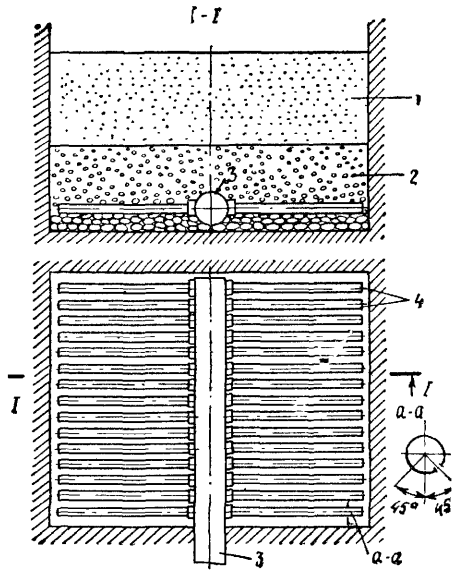


Рис. V.38

1 — фильтрующий слой; *2* — поддерживающие слои; *3* — коллектор; *4* — ответвления дренажа

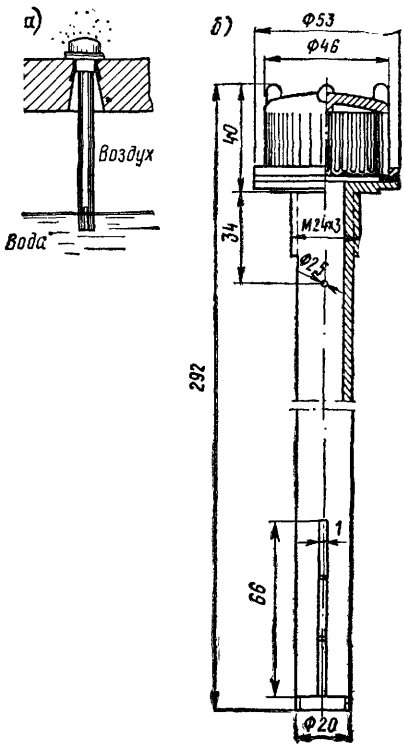


Рис. V.39

рующего материала без поддерживающих слоев, является щелевой трубчатый дренаж, в котором в стенках труб ответвлений устроены щели шириной около 0,6 мм. Во избежание коррозии и зарастания щелей ответвления такого дренажа должны изготовляться из нержавеющей стали или из прочной пластмассы.

Колпачковые дренажи. При этой системе дренажа для распределения промывной воды используются колпачки той или иной конструкции, которые или навинчиваются на присоединенные к трубчатой системе, подобной обычному дренажу, вертикальные штуцера, или укрепляются в верхнем днище фильтра, отделяющем фильтр от междудонного пространства, или ввинчиваются в заложенные в бетонные плиты закладные детали.

На рис. V.39, *а* показана деталь установки колпачка в бетонном днище фильтра, а на рис. V.39, *б* дан общий вид пластмассового колпачка для водовоздушной промывки.

В практике строительства фильтров применяются различные виды колпачковых дренажей, а также пористые плиты, образующие дренажное днище фильтров.

в. Расчет дренажей большого сопротивления

При расчете дренажей большого сопротивления необходимо подобрать сопротивление в отверстиях дренажной системы, обеспечивающее требуемую равномерность подачи промывной воды, определить величину потерь напора в дренаже и найти размеры всех элементов дренажной системы (диаметры труб, число, взаимное расстояние и размеры отверстий).

Расчетные расходы промывной воды определяются принятой интенсивностью промывки и площадью фильтра. Интенсивность промывки принимается в зависимости от характеристики фильтрующего материала (см. § 102).

Опыт эксплуатации фильтров и специальные исследования показали, что требуемая степень равномерности подачи промывной воды достигается при условии, если площадь отверстий в дренажной системе составляет 0,2—0,25% площади фильтра. При этом значение отношения β получается близким к 0,9.

Установим зависимость между напором H_0, под которым должно происходить истечение воды из отверстий дренажа, интенсивностью промывки q и суммарной площадью отверстий в дренаже Ω.

Количество воды, вытекающей из одного отверстия площадью ω (при H_0 в м и ω в м^2):

$$q_0 = \mu\omega\sqrt{2gH_0}\ \text{м}^3/\text{с}.$$

Умножив обе части этого равенства на число отверстий n, приходящихся на один фильтр, и разделив их на площадь фильтра F, получим

$$\frac{q_0 n}{F} = \mu\frac{\omega n}{F}\sqrt{2gH_0}.$$

Умножив величину $q_0 n/F$ на 1000, получим интенсивность промывки q в л/с на 1 м^2 площади фильтра. Таким образом:

$$\frac{q_0 n}{F} = \frac{q}{1000}.$$

Величина $\omega n/F = \Omega/F$ есть отношение суммарной площади отверстий дренажа к площади фильтра. Выразив это отношение в процентах и обозначив его через p, получим

$$q = 10\mu p\sqrt{2gH_0}.$$

Отсюда

$$H_0 = \frac{q^2}{(10\mu p)^2 2g}.$$

Подставив сюда заданную величину q, а также p в указанных выше пределах, получим искомую величину H_0.

Величина коэффициента расхода μ принимается в зависимости от отношения диаметра отверстия d_0 к толщине стенок дренажных труб δ:

d_0/δ	1,25	1,5	2	3
μ	0,76	0,71	0,67	0,62

Для щелей принимают $\mu = 0{,}65$.

Зная площадь фильтра и приняв величину p, можно определить общую площадь отверстий дренажа (в м^2):

$$\Omega = \frac{pF}{100}.$$

Задаваясь диаметром отверстий (в пределах 10—12 мм), можно найти общее число отверстий и распределить их по длине дренажных труб.

При устройстве щелей их ширину принимают по размеру наименьших зерен фильтрующего материала.

Диаметр дренажных труб определяют по скорости 1,5—2 м/с.

Для определения потерь напора в дренажной системе СНиП II-Г.3-62 рекомендуют эмпирическую формулу

$$h = \left(\frac{2{,}2}{K_\omega^2} + 1\right)\frac{v_к^2}{2g} + \frac{v_{б.о}^2}{2g},$$

где K_ω — коэффициент, равный отношению суммарной площади всех отверстий распределительной системы к площади поперечного сечения общего коллектора;

$v_к$ и $v_{б.о}$ — скорости соответственно в начале коллектора и в боковых ответвлениях распределительной системы.

Эта формула дает величину h, обеспечивающую равномерность подачи промывной воды около 0,9, что является приемлемым. Значение K_ω для указанной степени равномерности подачи воды следует принимать равным 0,35.

Как видим, в рекомендуемой формуле вместо отношения суммарной площади отверстий к площади фильтра p использовано отношение площади отверстий к поперечному сечению коллектора. Такой подход к расчету в принципе более логичен.

§ 102. ПРОМЫВКА СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Промывка фильтров обратным током воды. Задачей промывки фильтра является удаление из толщи фильтрующего материала (особенно из его верхних слоев) загрязнений, задержанных в процессе фильтрования. При этом зерна фильтрующего материала должны быть тщательно отмыты и должны занимать после промывки то положение, которое они занимали при нормальной работе фильтра.

В процессе промывки восходящие токи промывной воды взмучивают песок, и объем его увеличивается; это увеличение объема называют «расширением песка».

Опыты показали, что эффективность промывки зависит от степени

расширения песка. Степень расширения песка e может быть выражена через толщину слоя фильтрующего материала L_0 и толщину этого слоя, «расширившегося» при промывке, L:

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}.$$

Отсюда

$$L = L_0 (e + 1).$$

Если поверхность песка до промывки во время фильтрования занимала положение *аа* (рис. V.40), то при промывке песок поднимется, и поверхность взмученной массы песка, поддерживаемого восходящими токами воды, займет некоторое положение *бб*.

Высота подъема песка будет тем больше, чем больше скорость подъема промывной воды, т. е. чем больше интенсивность промывки Кроме того, высота подъема частиц песка зависит от температуры воды. Чем ниже температура воды, а следовательно, чем больше ее вязкость, тем выше будут подниматься при той же скорости промывки частицы промываемого песка.

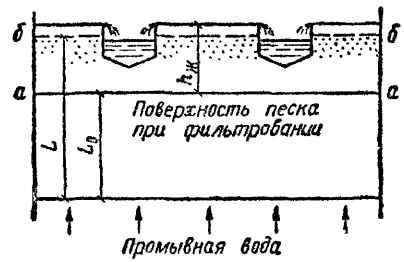


Рис. V.40

Расширение песка происходит лишь при условии, если интенсивность промывки превышает некоторое критическое для данного случая значение.

Весьма интересные теоретические исследования и эксперименты по промывке скорых фильтров были проведены в Академии коммунального хозяйства Д. М. Минцем и С. А. Шубертом.

При взвешивании песка промывной водой сила тяжести песка (в воде) уравновешивается разностью сил давления у нижней и верхней поверхностей взвешенного слоя. Относя названные силы к 1 м² площади фильтра, можем написать $G = \Delta P$.

Вес взвешенного в воде слоя песка на 1 м² площади фильтра

$$G = (\rho_п - \rho) g (1 - m_0) L_0,$$

где $\rho_п$ и ρ — плотность соответственно песка и воды; m_0 — пористость загрузки до расширения.

Перепад сил давления

$$\Delta P = \gamma h = \rho g h.$$

Подставляя в основное уравнение динамического равновесия полученные выражения для G и ΔP, определим из него потери напора во взвешенном слое

$$h = \frac{\rho_п - \rho}{\rho} (1 - m_0) L_0.$$

Из этой формулы следует, что потери напора (и перепад сил давления) в слое взвешенного песка постоянны. Они не зависят от скорости восходящего движения воды. Таким образом, с изменением интенсивности промывки (сверх критических значений) изменяются степень расширения и толщина взвешенного слоя, но потери напора во взвешенном слое остаются неизменными.

Движение воды через слой песка, взвешенного в восходящем пото-

ке, можно рассматривать как частный случай движения жидкости в пористой среде. Таким образом, устанавливается определенная аналогия между движением воды во взвешенном слое и движением ее через фильтрующий материал. Разница заключается в том, что при изменении скорости в первом случае меняется толщина слоя, но потери напора остаются постоянными, во втором случае толщина слоя остается той же, а потери напора изменяются.

Для изучения законов движения воды через слой песка, взвешенного в восходящем потоке, Д. М. Минц и С. А. Шуберт использовали теорию подобия и в результате обработки опытных данных предложили формулы, позволяющие определять при этом виде движения коэффициенты сопротивления, скорости и интенсивности промывки.

В соответствии с результатами этих исследований скорость движения промывной воды v (в см/с) может быть выражена следующей формулой:

$$v = \left(\frac{g}{A \cdot 6^{1,7}}\right)^{0,77} \frac{(\rho_п - \rho)^{0,77}\, d^{1,31}\, (e + m_0)^{2,31}}{\alpha^{1,3}\, \mu^{0,54}\, \rho^{0,23}\, (e+1)^{1,77}\, (1 - m_0)^{0,54}},$$

где d — диаметр зерен песка (для однородной загрузки);

μ — коэффициент вязкости воды, зависящий от ее температуры.

Если принять для кварцевого песка $\rho_п = 2{,}62$ и для воды $\rho = 1$, а также использовать полученные из опыта значения параметра A и коэффициента формы зерен песка α, то формула примет такой вид:

$$v \geqslant 10 \frac{d^{1,31}}{\mu^{0,54}} \cdot \frac{(e + m_0)^{2,31}}{(e+1)^{1,77}\, (1 - m_0)^{0,54}}.$$

Для практических расчетов удобно вместо скорости v ввести в формулу «интенсивность промывки» q, т. е. количество воды, подаваемой для промывки фильтров на 1 м² его площади (в л/с):

$$q = 100 \frac{d^{1,31}}{\mu^{0,54}} \cdot \frac{(e + m_0)^{2,31}}{(e+1)^{1,77}\, (1 - m_0)^{0,54}}.$$

Эта формула устанавливает зависимость между интенсивностью промывки и степенью расширения песка для различной крупности (и пористости) загрузки и различной температуры (а следовательно, и вязкости) воды.

Полученная для q формула в представленном виде справедлива для однородной загрузки, т. е. песка с одинаковой крупностью зерен. Так как в практике песчаная загрузка фильтра всегда состоит из зерен различного диаметра, в приведенной формуле под d следует понимать эквивалентный диаметр песка.

Таблица V.10

Тип загрузки скорого фильтра	Относительное расширение загрузки в %	Интенсивность промывки при температуре воды 20° С в л/(с·м²)	Длительность промывки в мин
Песок с крупностью зерен в мм:			
0,7—0,8	45	12—14	6—5
0,9—1	30	14—16	
1,1—1,2	25	16—18	
Двухслойная	50	13—15	7—6

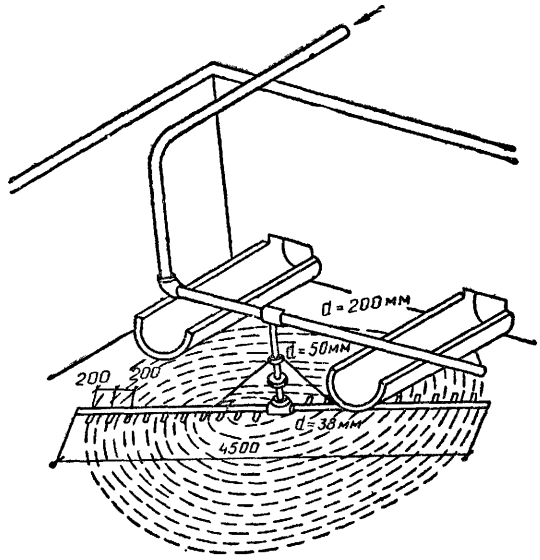
В табл. V.10 приведены значения требуемого расширения песка и соответствующие им интенсивности и длительности промывки для различных загрузок.

Применение антрацитовой загрузки (как более легкой) позволяет значительно (на 70%) снизить интенсивность промывки при том же эффекте очистки фильтрующего материала.

Бóльшие значения интенсивности промывки соответствуют меньшим значениям ее длительности.

Как видно из приведенных формул, при более высоких температурах воды, т. е. при меньшей ее вязкости, требуемая интенсивность промывки (при прочих равных условиях) возрастает. Таким образом, расход промывной воды летом больше, чем зимой.

Верхняя промывка скорых фильтров. В качестве мероприятия, повышающего качество промывки фильтров и предотвращающего накопление остаточных загрязнений на фильтре, применяют так называемую верхнюю (или поверхностную) промывку фильтров, при которой промывная вода подается на фильтр сверху. Верхнюю промывку применяют как дополнение к основной промывке фильтра снизу обратным то-



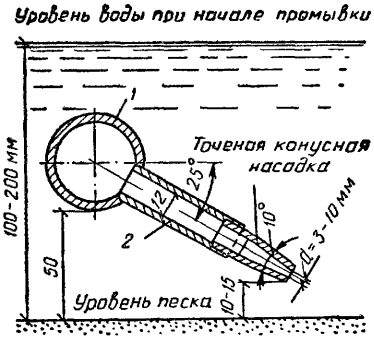


Рис. V.41

ком воды и производят в сочетании с последней. Задачей верхней промывки является взмучивание загрязнений верхнего слоя фильтрующего материала.

Существует два основных способа поверхностной промывки: с неподвижными промывными трубами и с вращающейся промывной трубой.

При первом способе промывная вода подается на фильтр через сеть дырчатых труб, расположенных на высоте 5—7,5 см над поверхностью песка параллельно желобам для отвода промывной воды. Отверстия в трубах расположены в шахматном порядке и обращены вниз под углом 30° к горизонту. Интенсивность промывки составляет 3—4 л/(с·м^2).

Второй способ (рис. V.41) осуществляется при помощи вращающейся трубы *1*, снабженной отверстиями или соплами *2*, через которые вода подается на фильтр. Труба *1* вращается по принципу сегнерова колеса в плоскости, расположенной на 5 см выше поверхности фильтра.

Интенсивность промывки равна 0,5—0,75 л/(с·м²). Чтобы струи воды проникали в слой песка на глубину 10—15 см, скорость движения ее при выходе из сопл должна быть 20 м/с и более. Эта система промывки дает хорошие результаты, но требует подачи промывной воды под давлением порядка 4—4,5 кгс/см², т. е. значительно превышающим давление, необходимое для обратной промывки. При этом вода может подаваться от напорного водовода очищенной воды. Если давление в нем недостаточно, приходится прибегать к установке специального промывного насоса повышенного давления.

§ 103. ОТВОД И ПОДАЧА ПРОМЫВНОЙ ВОДЫ

Промывная вода отводится с фильтра системой желобов или дырчатых труб, расположенных над поверхностью фильтрующего материала. Кромка желоба должна быть расположена на такой высоте над «статическим» уровнем песка *аа* (см. рис. V.40), чтобы вертикальные токи промывной воды могли выносить в желоб лишь частицы загрязнений, вымытых из фильтра, не увлекая за собой частицы взмученного и поднятого водой песка. Следовательно, кромка желоба должна быть расположена выше уровня подъема песка при промывке.

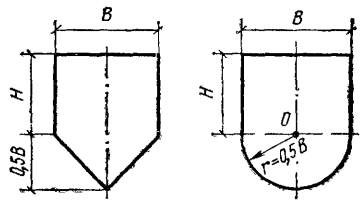


Рис. V.42

Высота подъема песка зависит от толщины его слоя и степени его расширения, зависящей в свою очередь от интенсивности промывки. Обычно, учитывая увеличение скорости движения воды при ее проходе между желобами, кромку желоба располагают на 25 см выше поверхности *бб* песка после его расширения. Таким образом, при толщине слоя песка в фильтре L_0 и расчетном проценте степени расширения песка e высота расположения кромки желоба над статическим уровнем песка будет

$$h_{ж} = \frac{eL_0}{100} + 0{,}25 \text{ м}.$$

Для обеспечения равномерного удаления промывной воды с фильтра и выноса частиц загрязнений необходимо, чтобы длина горизонтального пути воды при изливе ее в желоба была по возможности небольшой.

В соответствии с указаниями СНиП II-Г.3-62 расстояние между осями соседних желобов не должно превышать 2,2 м.

Площадь поперечного сечения желоба определяется по расчетному расходу отводимой им воды $Q_{ж}$. Очевидно, что

$$Q_{ж} = \frac{q\Omega}{1000n},$$

где q — расчетная интенсивность промывки фильтра в л/(с·м²);
Ω — площадь фильтра;
n — число желобов на фильтре.

Желоба устраивают из железобетона или листовой стали. Днищам желобов придают продольный уклон 0,01 по ходу воды. В поперечном сечении днища имеют треугольную или полукруглую форму (рис. V.42).

Размеры желобов типовых профилей выражают обычно через их ширину B (рис. V.42). Высота прямоугольной части сечения H принимается от 0,75 до 0,5 B.

Приближенно площадь поперечного сечения желоба определяют обычно из условий получения в его конечном сечении расчетной скорости $v=0{,}6$ м/с, т. е.

$$\omega_{ж}=\frac{Q_{ж}}{0{,}6}.$$

Однако более правильно использовать для определения $\omega_{ж}$ расчетные формулы, учитывающие действительный характер движения жидкости в желобе, когда расход воды непрерывно возрастает по длине желоба.

Применяя к расчету желобов законы движения жидкости с переменной массой, проф. Д. М. Минц получил расчетную формулу для определения площади живого сечения в конце желоба (в сопряжении со сборным каналом):

$$\omega=1{,}73\sqrt[3]{\frac{Q_{ж}}{g}B}.$$

Определяя отсюда ширину B для желобов различных форм (см. рис. V.42) и соотношений H/B, можно получить формулу

$$B=K\sqrt[5]{\frac{Q_{ж}^2}{\left(1{,}57+\frac{2H}{B}\right)^3}},$$

где коэффициент K зависит от формы днища желобов и принимается равным 2,1 при треугольных днищах и равным 2 при полукруглых днищах.

Эта формула рекомендуется строительными нормами и дает более экономичные результаты (т. е. меньшие размеры желобов), чем приближенный расчет по условной скорости $v=0{,}6$ м/с.

Желоба присоединяются к сборному карману или каналу, из которого промывная вода удаляется по вертикальной трубе и шахте в водосток.

Как указывалось, фильтры промывают фильтрованной водой. Промывную воду подают на фильтры либо при помощи промывных насосов (забирающих воду из резервуаров чистой воды), либо от специальных напорных баков (наполняемых от водоводов станции второго подъема).

Емкость бака промывной воды следует принимать, как правило, исходя из условий хранения в нем запаса воды, требуемого для двух промывок фильтра при одновременной промывке одного фильтра или для трех промывок при одновременной промывке двух фильтров.

Полная высота подъема, которую должны создавать насосы, подающие промывную воду, слагается из следующих величин:

а) расчетной геометрической высоты подъема воды, равной разности отметок кромки желобов, отводящих с фильтра промывную воду, и минимального уровня в резервуаре чистой воды, откуда насос забирает воду;

б) потерь напора в трубах, фасонных частях и арматуре на пути от резервуара до фильтров, определяемых по скорости 2—2,5 м/с;

в) потерь напора в дренаже;

г) потерь напора в песке и гравии (принимаемых равными высоте их слоя).

При подаче промывной воды от напорного бака дно его должно быть расположено выше уровня кромок желобов фильтра на высоту, равную сумме величин перечисленных потерь.

Недостатками промывки фильтров от напорного бака являются определенные промежутки между промывками отдельных фильтров, лимитируемые емкостью бака и временем его наполнения, а также увеличение стоимости здания станции, связанное с устройством бака. Достоинство этого метода заключается в том, что при нем не требуется установки промывного насоса большой производительности, дающего вследствие периодичности пуска неравномерную нагрузку на электросеть, питающую насосы.

Достоинством промывки от насоса является небольшая стоимость установки и возможность промывки фильтров в любом порядке и с любой продолжительностью, так как промывные насосы берут воду из резервуара чистой воды большой емкости.

Выбор метода подачи промывной воды производится на основании технико-экономического сравнения.

Опыт проектирования фильтровальных станций показывает, что для станций большой производительности обычно целесообразно устройство промывных баков, а для станций средней и малой производительности — промывных насосов.

Промывной насос устанавливается в здании фильтровальной станции, а иногда на насосной станции второго подъема.

§ 104. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ, СУММАРНОЙ ПЛОЩАДИ И ЧИСЛА ФИЛЬТРОВ

При проектировании фильтровальных станций основной заданной величиной является полезная производительность станции, равная, очевидно, сумме S расчетного суточного расхода воды, которая должна быть подана снабжаемому объекту, и расхода на все собственные нужды водопровода, кроме тех, которые связаны с эксплуатацией фильтров.

Кроме того, фильтры должны обеспечить возможность очистки необходимого для их собственных нужд количества воды $S_ф$. Это количество слагается из количества воды, идущей на промывку фильтров, и потерь воды при сбросе первого фильтрата после промывки:

$$S_ф = 3{,}6\ qn\,\Omega\,t_1 + vnt_3\,\Omega,$$

где q — расчетная интенсивность промывки в л/(с·м²);
n — число промывок в сутки;
Ω — суммарная площадь фильтров в м²;
t_1 — длительность промывки в ч;
v — нормальная скорость фильтрования в м/ч;
t_3 — длительность сброса первого фильтрата в ч.

Полная производительность станции, очевидно, будет равна:

$$S_п = S + S_ф.$$

С другой стороны, производительность $S_п$ должна равняться количеству воды, которое фильтры могут пропустить за время их полезной работы в течение суток при нормальной скорости фильтрования

$$S_п = v\,\Omega\,(T - t_2 n),$$

где T — полное время работы станции за сутки (обычно равное 24 ч);
t_2 — длительность перерывов в полезной работе фильтра, связанных с операциями по промывке.

Приравняв выражения для полного количества профильтрованной воды и полной требуемой производительности станции, получим

$$v\Omega(T-t_2n)=S+3{,}6qnt_1\Omega+vnt_3\Omega.$$

Это равенство устанавливает зависимость между полученной (заданной) производительностью очистной станции и полной требуемой площадью фильтров Ω. Отсюда

$$\Omega=\frac{S}{vT-3{,}6qnt_1-vnt_2-vnt_3}.$$

Соображения по выбору величин v, q и t_1 даны выше.

Для обычных скорых фильтров исходя из опыта их эксплуатации, как правило, принимают $t_3=10$ мин (0,17 ч) и $t_2=20$ мин (0,33 ч). Число промывок в сутки n принимают от 2 до 3.

Определив Ω, можно получить по приведенным формулам полную расчетную производительность станции $S_п$, а также затраты воды на собственные нужды фильтров $S_ф$.

Число фильтров N обычно определяют по эмпирической формуле

$$N=0{,}5\sqrt{\Omega}.$$

Установка менее двух фильтров не допускается.

§ 105. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ

Совершенно очевидно, что по эксплуатационным соображениям желательно обеспечить постоянную производительность фильтра (а следовательно, и постоянную скорость фильтрования). Для этого на линии, отводящей фильтрованную воду, вводят дополнительное сопротивление, которое изменяется (уменьшается) по мере загрязнения фильтра и поглощает весь избыточный напор $h_р$ от H_0 при чистом фильтре до минимально возможной (по конструктивным соображениям) величины $h'_р$ (см. рис. V.33).

В качестве такого переменного дополнительного сопротивления используют различного типа регуляторы скорости фильтрования, работающие автоматически. На некоторых станциях применяют еще ручное регулирование скорости фильтрования, постепенно открывая задвижку, установленную на отводящей линии. При таком регулировании скорость фильтрования в период между операциями с задвижкой снижается.

Как видно из изложенного, в любой момент работы фильтра сумма величин $h+h_р$ постоянна. Необходимость промывки фильтра наступает в тот момент, когда величина h достигает максимального значения, равного $H-h'_р$ (см. рис. V.33).

На рис. V.43 показано устройство автоматического регулятора скорости фильтрования конструкции советского изобретателя Р. М. Лежоева. Вода, прошедшая фильтр, поступает в трубу *1* с суженным сечением, присоединенную непосредственно к нижней камере *2* регулятора, в которой на вертикальном штоке расположен двухседельный дроссельный клапан *3*. Верхняя тарелка клапана соединена с эластичной мембраной *4*, отделяющей верхнюю камеру *5* от нижней *2*. Так как верхняя камера соединена трубой *6* с суженным сечением трубы *1*, а нижняя примыкает к ее расширенной части, то давление в камере *5* при движении воды всегда будет меньше, чем в камере *2*. Эта разность давлений будет передаваться через мембрану на клапан, стремясь его поднять. Сила, поднимающая клапан, уравновешивается силой давления

столба воды H (от уровня воды в колонке *7*) на поршень *8* в верхней части клапана.

Всякое увеличение или уменьшение расхода воды, поступающей с фильтра, вызывает немедленно изменение разности давлений в верхней и нижней камерах регулятора и соответствующее передвижение клапана, уменьшающее или увеличивающее его открытие. Этим автоматически поддерживается постоянство расхода и, следовательно, постоянство скорости фильтрования.

Если в процессе эксплуатации оказывается необходимым установить другую скорость фильтрования, это делается путем изменения уровня воды в колонке *7*. Небольшое количество воды (5—10 л/ч) непрерывно подается в колонку по трубе *9* и сливается через перелив *10*, соединенный с колонкой резиновой трубкой. Поднимая и опуская перелив *10*, можно установить требуемый уровень воды в колонке *7*. Прибор снабжен рейкой с указателем скоростей фильтрования (соответствующих уровням воды в колонке).

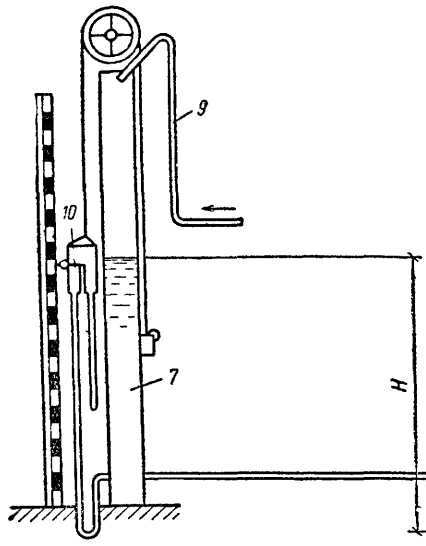
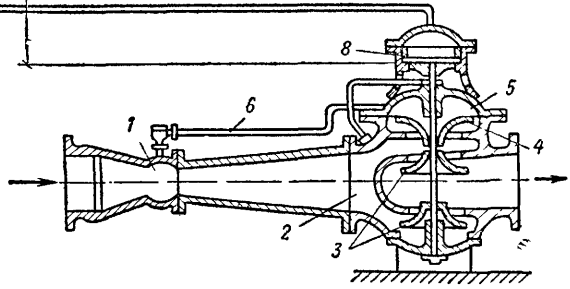


Рис. V.43

На рис. V.44 приведена схема дроссельного регулятора, который часто неправильно называют также регулятором. скорости фильтрования. На трубопроводе, отводящем профильтрованную воду, установлен дроссельный клапан *1*, связанный при помощи тяг и рычага с поплавком *2*, находящимся в подводящем кармане фильтра *3*. При повышении уровня воды в фильтре *4* поплавок поднимается, дроссельный клапан открывается на большую величину, создаваемое им сопротивление уменьшается, вследствие чего увеличивается количество проходящей через фильтр воды.



Амплитуда колебаний уровня воды на фильтре при установке дроссельного регулятора значительно уменьшается, а скорость фильтрования меняется в зависимости от изменения количества подаваемой на фильтр воды.

Для сохранения одинаковой скорости фильтрования на всех фильтрах при применении дроссельных регуляторов необходимо обеспечивать правильное распределение между фильтрами воды, поступающей на фильтровальную станцию. Для этой цели можно применять распределительный желоб *5* с водосливами или отверстиями равной величины против каждого фильтра.

Таким образом, в то время как при применении регуляторов скорости фильтрования подача воды на фильтровальную станцию должна точно увязываться с установленной на них скоростью фильтрования, при применении дроссельных регуляторов подачу воды на станцию можно изменять, однако с таким условием, чтобы скорость фильтрования не превышала допустимых пределов.

На рис. V.45 показана схема устройства одного из новых регуляторов скорости фильтрования (системы АКХ). Регулятор *1* представляет собой коробку, разделенную упругой мембраной *2* на две камеры. На трубе, подающей воду на фильтр, установлена диафрагма *3*, от которой идут импульсные трубки *4* к верхней и нижней камерам регулятора. Регулятор соединен штоком *5* с золотником *6*, от которого идут соединительные трубки *7* к гидроприводу *8*, управляющему задвижкой *9* на подающей трубе. Перепад давления на диафрагме, соответствующий заданному расходу подаваемой воды, уравновешивается грузом *10*. При изменении расхода подаваемой воды (а следовательно, и скорости фильтрования) изменяется перепад давления, что вызывает поднятие или опускание штока. В результате этого золотник подает воду в верхнюю или нижнюю часть гидропривода задвижки, увеличивая или уменьшая степень ее открытия в той мере, в какой это требуется для поддержания подачи заданного расхода.

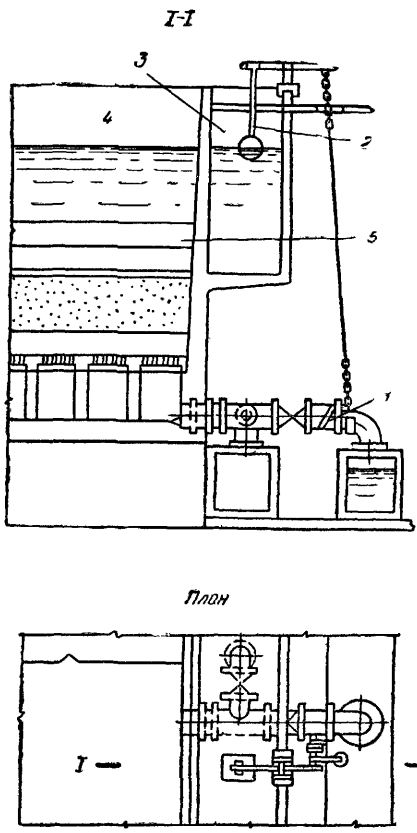


Рис. V.44

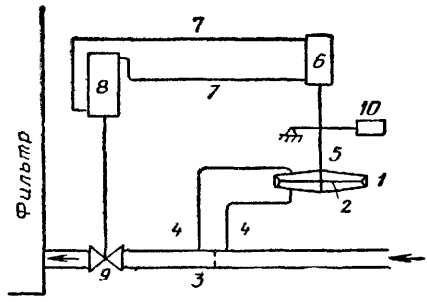


Рис. V.45

§ 106. ОБОРУДОВАНИЕ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ ИХ РАБОТОЙ

Для подачи и отвода воды, а также для управления работой фильтра он должен быть оборудован соответствующими трубами и арматурой.

Схема коммуникаций обычного скорого фильтра показана на рис.

V.46. Вода, прошедшая предварительно отстойники или осветлители, подается к фильтрам по магистральной трубе или каналу *I*. От этой магистрали к каждому фильтру подводится ответвление *1* с задвижкой *2*. Ответвление *1* примыкает к боковому карману *3* фильтра. Из кармана вода через желоба *4* поступает на фильтр.

Вода, прошедшая фильтр, отводится через дренажные трубы *5* и поступает по трубе *6* к магистральной линии *II*, отводящей чистую воду. Труба *6* обычно непосредственно присоединяется к магистрали дре-

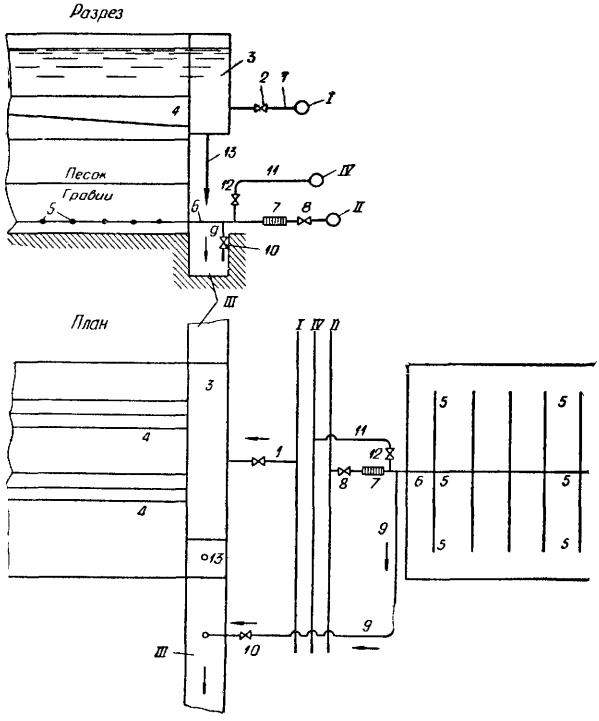


Рис V.46

нажной системы *5*. На трубе *6* устанавливаются регулятор скорости фильтрования *7* и задвижка *8*. Для сброса первого фильтрата и опорожнения фильтра служит труба *9* с установленной на ней задвижкой *10*. Эта труба присоединяется к трубе *6*, отводящей чистую воду. По трубе *9* вода сбрасывается в канал *III*. Промывная вода подается от насосов или от бака по напорной трубе *IV* через ответвление *11* с установленной на нем задвижкой *12*. На фильтр она поступает через систему дренажных труб *5*.

Промывная вода, прошедшая через фильтр, удаляется по желобам *4* в сборный карман *3* и из него по вертикальной трубе *13* (через донный клапан) спускается в канал *III*, отводящий загрязненную воду в водосток.

На плане условно с левой стороны приведен вид фильтра на уровне желобов, с правой стороны — на уровне дренажных труб.

Диаметры труб и сечения каналов, подающих воду на фильтр от отстойников, определяются по скорости примерно 1—1,5 м/с.

Работа фильтра происходит при открытых задвижках *2* и *8* и закрытых задвижках *10* и *12*. Осветляемая вода поступает на фильтр

под уровень воды по тем же желобам, по которым отводится промывная вода.

Перед промывкой фильтра закрывают задвижку *2* и срабатывают слой воды над фильтром до уровня кромок желобов. Затем закрывают задвижку *8* и пускают промывную воду, открывая задвижку *12*. Закончив промывку, открывают задвижку *2* и пропускают воду на фильтр, а затем открывают задвижку *8*, после чего начинается нормальная работа фильтра, или же предварительно в течение некоторого времени сбрасывают первый фильтрат по трубе *9* при открытой задвижке *10*.

В современных станциях осветления воды управление работой фильтров полностью механизировано. Наблюдение за работой фильтров и управление задвижками централизованы. Управление всеми операциями по открыванию и закрыванию задвижек, пуску насосов и т. п. производится с пультов. Управление задвижками производится при помощи гидравлической или электрической системы передачи энергии. Схемы управления электрифицированными задвижками значительно проще, чем задвижками с гидравлическим приводом. Регулирование скорости фильтрования также может производиться с пультов управления.

Иногда приборы, измеряющие расход воды и потери напора в фильтрах, снабжаются самопишущими аппаратами.

Кроме того, при помощи вакуум-аппаратов или специальных небольших насосов на стол управления и в лабораторию может непрерывно подаваться фильтрат, проходящий через мутномер, что дает возможность непосредственно контролировать качество воды, прошедшей фильтр.

Советскими научно-исследовательскими институтами и проектными организациями разработаны методы полной автоматизации работы станций или отдельных ее процессов, и в частности процесса промывки[1]. Такая автоматизация осуществляется уже на ряде станций.

Выключение фильтра на промывку производится от измерителя потерь напора в фильтре. Одновременно включается реле пуска промывного насоса и соответствующим образом переключаются задвижки, показанные на рис. V.46. После истечения заданного времени промывки происходят новое автоматическое переключение задвижек, остановка промывных насосов и пуск фильтра в работу.

Схема автоматизации промывки фильтров при их большом числе дополняется устройством для автоматического выбора очередности промывки.

Автоматизация процесса промывки фильтров позволяет сократить расходы воды на промывку и значительно облегчить работу обслуживающего персонала.

§ 107. КОНТАКТНЫЕ ОСВЕТЛИТЕЛИ

Своеобразным сооружением для осветления и обесцвечивания воды являются контактные осветлители. По своей конструкции они близки к фильтрам с песчаной загрузкой, укладываемой на слой гравия или непосредственно на дренажную систему. Вода проходит загрузку снизу вверх, т. е. в направлении уменьшающихся размеров ее зерен (так же, как и в фильтрах АКХ — см. § 108). Коагулянт вводится в обрабатываемую воду непосредственно перед поступлением ее в фильтр. Таким

[1] Описание различных схем автоматизации работы очистных сооружений и автоматических приборов управления и контроля дается в курсе «Автоматизация работы водопроводно-канализационных сооружений».

образом, здесь имеет место контактная коагуляция, при которой коллоидные частицы прилипают к зернам загрузки. Это позволяет снизить дозу коагулянта и, следовательно, общий его расход.

Контактные осветлители (разработанные в Академии коммунального хозяйства под руководством проф. Д. М. Минца и А. С. Шуберта) применяются в одноступенчатых установках для очистки маломутных и цветных вод (при содержании в них не более 150 мг/л взвеси, включая образовавшуюся в результате коагулирования).

Разработаны контактные осветлители нескольких типов. В одних (КО-1) отвод фильтрата производится из надзагрузочного слоя воды. В этом случае скорость фильтрования (при среднем размере зерен пес-

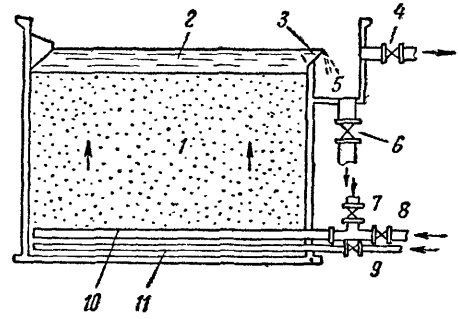


Рис. V.47

1 — загрузка; *2* — слой воды над загрузкой; *3* — пескоулавливающий желоб; *4* — отвод осветленной воды; *5* — карман; *6* — сброс промывной воды; *7* — подача промывной воды; *8* — подача осветляемой воды; *9* — подача воздуха; *10* — распределительная система для подачи воды; *11* — то же, воздуха

ка 0,8 мм) не должна превышать 5—5,5 м/ч — во избежание взвешивания песка. В осветлителях КО-2 отвод фильтрата осуществляется из верхней части фильтрующего слоя. Это позволяет повысить расчетную скорость фильтрования (до 10 м/ч), но удорожает систему дренажа.

Для загрузки контактных осветлителей применяется песок с эквивалентным диаметром от 0,9 до 1,1 мм. Зерна песка размером менее 0,5 мм не должны допускаться.

Толщина слоя загрузки принимается не менее 2 м. Потери напора в заиленной загрузке не должны превосходить толщину ее слоя. Толщина слоя гравия 0,35 м.

Промывка загрузки осуществляется также подачей воды снизу вверх. Интенсивность промывки составляет 13—15 л/(с·м^2), а объем промывной воды (при наибольшей допустимой мутности исходной воды) — 15% объема осветляемой воды.

Уменьшение расхода промывной воды достигается применением продувки загрузки сжатым воздухом.

Последняя из предложенных (в 1971 г.) конструкций контактных осветлителей КО-3 показана на рис. V.47. Осветлители этого типа также могут устраиваться с гравийным слоем или без него.

Скорость фильтрования в осветлителе КО-3 может приниматься на 10—15% больше, чем в осветлителе КО-1, а расход промывной воды в 1,6—1,8 раза меньше.

Для промывки предусматривается продувка загрузки воздухом с интенсивностью 18—20 л/(с·м^2) в течение 1—1,5 мин, затем одновременная с воздухом подача воды [2—3 л/(с·м^2)] в течение 6—7 мин и, наконец, промывка одной водой [6—7 л/(с·м^2)] в течение 4—6 мин.

К особенностям устройства осветлителя КО-3 относится использование системы «низкого горизонтального отвода» промывной воды. Промывная вода, выходя из слоя загрузки в вертикальном направлении,

меняет это направление на горизонтальное и уходит в карман *5* (рис. V.47), унося с собой загрязнения.

Для обеспечения транспортирующей скорости в начале потока на стенке, противоположной сборному карману, располагается направляющий выступ (рис. V.48). У стенки, к которой примыкает сборный карман, устраивается пескоулавливающий желоб *1*, образуемый срезанной кромкой стенки *2* и наклонной отбойной стенкой *3*. Внизу желоба оставляется щель *4* шириной $a=1{,}5$—2 см. В зависимости от величины расхода промывной воды [от 10 до 25 л/(с·м²)] H_1 изменяется от 170 до 320 мм и Δ от 20 до 25 мм.

Поверхность песка должна быть расположена на 20—30 мм ниже нижней кромки стенки *3*.

Контактные осветлители в определенных условиях обеспечивают достаточный эффект очистки воды.

§ 108. ФИЛЬТРЫ АКАДЕМИИ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова разработана оригинальная конструкция скорых фильтров, получивших название «фильтры АКХ» и использованных в ряде городских водопроводов. Идея этих фильтров предложена Д. М. Минцем и С. А. Шубертом.

Из анализа работы обычных скорых фильтров видно, что вода, фильтруясь сверху вниз, отлагает загрязнения главным образом в верхнем наиболее мелкозернистом слое песка. Вследствие этого грязеемкость остальной части фильтрующего материала остается неиспользованной. В этих условиях верхние его слои быстро загрязняются, потери напора быстро возрастают, вследствие чего период полезной работы между промывками оказывается незначительным.

В фильтрах АКХ основная масса воды подается на фильтр снизу и проходит сначала нижние, относительно крупнозернистые слои фильтрующего материала, в силу чего загрязнения располагаются в толще фильтра более равномерно, грязеёмкость его возрастает, нарастание потерь напора идет медленно и длительность рабочего периода увеличивается. Чтобы воспрепятствовать взвешиванию верхних слоев мелкого песка при относительно больших скоростях восходящего потока воды, некоторая часть воды в фильтрах АКХ подается сверху. Фильтрат отводится системой дренажных труб, расположенных в толще песка на глубине 50—60 см от поверхности (до оси труб). Такой характер работы фильтра позволил назвать его двухпоточным фильтром.

Фильтры АКХ дают возможность увеличить период работы между промывками или повысить скорость фильтрования. Нормальная расчетная (условная) скорость фильтрования, рекомендованная для этих фильтров техническими условиями на их проектирование, составляет 12 м/ч (при этом под расчетной скоростью фильтрования понимается сумма скоростей фильтрования восходящего и нисходящего потоков). Благодаря относительно большой скорости фильтрования площадь этих фильтров значительно сокращается по сравнению с площадью обычных фильтров. Максимальная скорость при форсированной работе станции (промывка, ремонт) не должна превышать 15 м/ч.

К концу цикла количество воды, идущей снизу, достигает 80% всего ее количества.

Для этих фильтров толщина слоя песка принимается от 1,45 до 1,65 м при эквивалентном диаметре $d_э=0{,}9$ мм.

Для устройства дренажа в теле фильтра рекомендуются щелевые асбестоцементные или винипластовые трубы. Ширина щелей 0,4—0,5 мм.

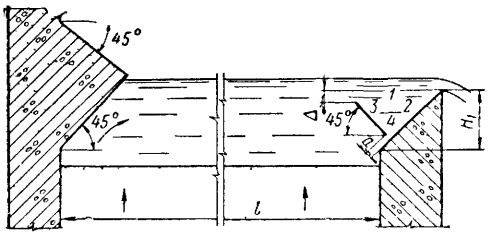


Рис. V.48

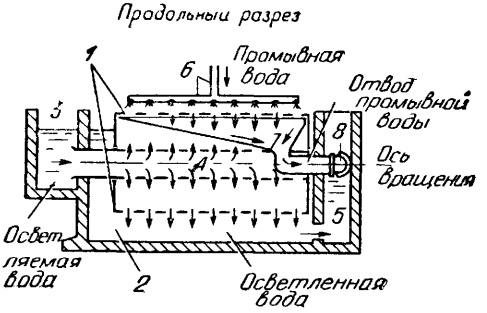


Рис. V.49

Суммарная площадь щелей должна составлять 1,5—2% площади фильтра

Промывка фильтров АКХ производится через нижнюю распределительную систему, выполненную в виде трубчатого дренажа большого сопротивления. Диаметр отверстий принимается в пределах 10—12 мм.

Для промывки фильтров сначала в течение 1—2 мин подается вода через верхний дренаж в количестве 6—8 л/(с·м²) для взрыхления верхнего слоя песка, затем включается основная, нижняя система, работающая с интенсивностью 13—15 л/(с·м²) в течение 6—5 мин; одновременно некоторое количество воды продолжает подаваться через верхний дренаж для предотвращения его засорения. После этого нижняя система выключается и в течение 1—2 мин производится подача воды в верхний дренаж с интенсивностью 10—12 л/(с·м²) для продувки щелей. Максимальный расход воды для промывки фильтров АКХ составляет от 4 до 5,5% объема осветляемой воды (при двух промывках в сутки).

§ 109. МИКРОФИЛЬТРЫ

Микрофильтры успешно используются для задержания планктона, содержащегося в воде поверхностных источников, — особенно в периоды цветения водохранилищ.

Микрофильтр представляет собой барабан в виде металлического каркаса, покрытого по цилиндрической поверхности фильтрующими элементами из поддерживающих и рабочих сеток (из нержавеющей стали).

Схема устройства микрофильтра приведена на рис. V.49. Вращающийся барабан *1* помещен в камеру *2* так, что его верх примерно на $^1/_3$ диаметра выходит над поверхностью воды. Из подающего канала *3* осветляемая вода поступает по дырчатой трубе *4* (служащей осью вращения) внутрь барабана и профильтровывается через вращающуюся сетку. Осветленная вода удаляется из камеры по каналу *5*. Одновременно осуществляется промывка сетки (в ее верхней части) струями воды из напорного промывного устройства *6*. Внутри барабана под верхней (промываемой) частью сетки установлен лоток *7* для сбора отработанной промывной воды, которая отводится по трубе *8*, служащей второй опорой вращающегося барабана.

В СССР в настоящее время промышленностью изготовляются микрофильтры диаметром барабана от 1,5 до 3 м, длиной от 1 до 4,5 м и производительностью от 4 до 45 тыс. м³/сутки.

Интенсивность фильтрования принимается от 10 до 25 л/(с·м²). Рас-

ход промывной воды составляет 1—3% количества фильтруемой воды. Барабан приводится в движение электродвигателем.

На станциях осветления воды городских водопроводов микрофильтры устанавливаются перед смесителями. Вода насосами первого подъема подается в приемную камеру и оттуда на микрофильтры.

§ 110. ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ ВОДЫ, ПОДАВАЕМОЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕЛЕЙ

Грубозернистые фильтры. В ряде случаев речная вода, подаваемая для производственных целей, требует предварительного осветления, хотя и не столь тщательного, как вода, подаваемая в сеть хозяйственно-питьевых водопроводов. Осветление технической воды нередко осуществляют путем фильтрования ее на «грубозернистых» фильтрах (без предварительного отстаивания и без коагулирования) с повышенными скоростями фильтрования (при мутности исходной воды до 300 мг/л). Загрузка таких фильтров состоит из песка или дробленого антрацита с крупностью зерен от 0,8 до 2,5 мм при коэффициенте неоднородности 1,8—2. Увеличение крупности зерен требует одновременного увеличения и толщины слоя фильтрующего материала, так как содержащиеся в воде взвешенные вещества проникают в толщу грубозернистого фильтра значительно глубже, чем в толщу мелкозернистой фильтрующей среды. При указанной крупности зерен необходимая толщина слоя фильтрующего материала лежит в пределах от 1,5 до 3 м. Скорость фильтрования на грубозернистых фильтрах составляет 10—15 м/ч. Верхние пределы

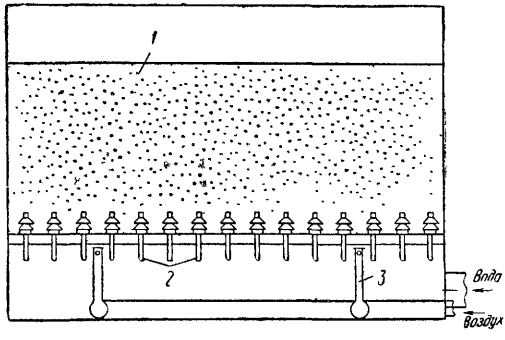


Рис. V.50

1 — фильтрующий слой; *2* — дренажные колпачки; *3* — система воздушных труб

толщины фильтрующего слоя и скорости фильтрования относятся к наиболее крупнозернистой загрузке.

Применение песка значительной крупности позволяет уменьшить толщину поддерживающих слоев или вообще обойтись без них.

Дренаж для фильтров без поддерживающих слоев выполняется при помощи колпачков различных конструкций (см. § 101), располагаемых на дренажном днище фильтра или на трубчатой распределительной системе.

Грубозернистые фильтры по сравнению с обычными требуют значительного увеличения интенсивности промывки. Для сокращения расхода промывной воды применяют одновременную продувку грубозернистых фильтров воздухом.

Схема фильтра с продувкой воздуха показана на рис. V.50. В дре-

нажном днище фильтра на штуцерах располагаются колпачки специальной конструкции. Хвостовые части колпачков, выходящие под дренажное днище, имеют продольные вертикальные щели шириной 0,8—1,5 мм и длиной 50—100 мм. Воздух, подаваемый в междудонное пространство по трубе, имеющей вертикальные отростки, скапливается под дренажным днищем фильтра (которое должно быть строго горизон-

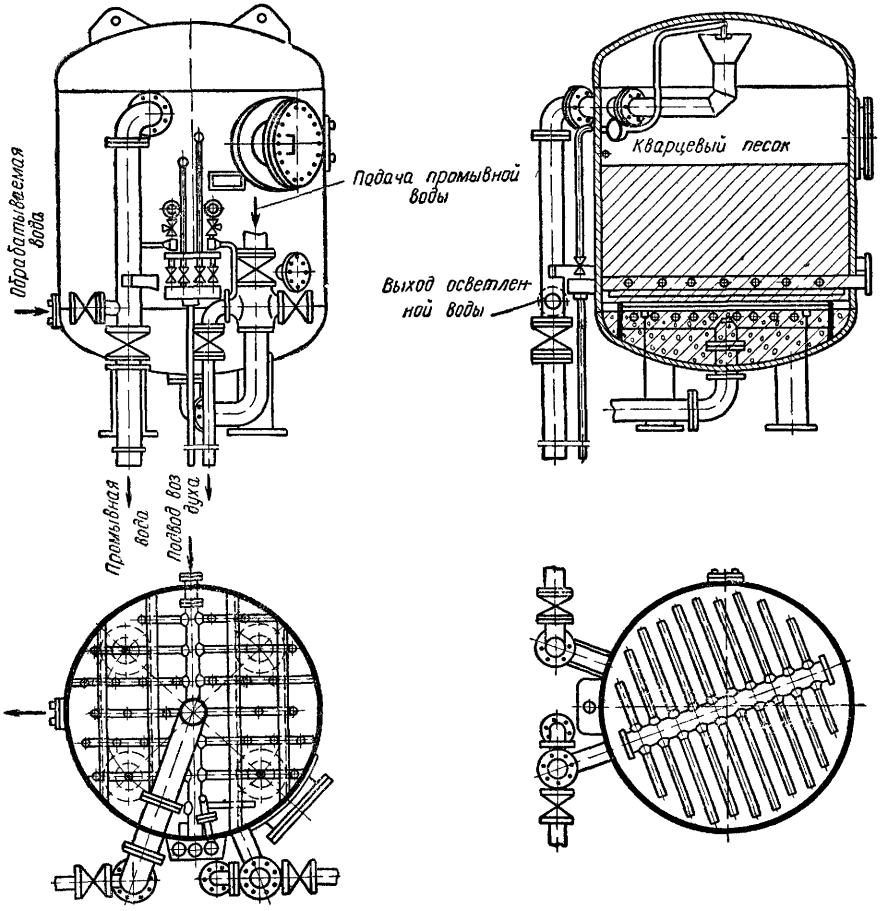


Рис. V.51

тальным), и получающаяся таким образом воздушная подушка вытесняет воду из междудонного пространства через нижние отверстия колпачков, прогоняя ее через толщу песка. Это продолжается до тех пор, пока уровень воды в междудонном пространстве не опустится ниже верха щелей в хвостовой части колпачков. Тогда воздух начинает поступать в щели и через головки колпачков в толщу песка.

При устройстве фильтров без междудонного пространства продувка песка воздухом осуществляется через распределительную трубчатую систему, уложенную на дне фильтра под песком параллельно с трубчатой системой, подающей промывную воду.

Рекомендуется следующий порядок промывки грубозернистых фильтров: взрыхление песка в продолжение 1 мин водой, подаваемой с интенсивностью 6—8 л/(с·м^2); затем подача в междудонное пространство

в течение 5 мин одновременно воды [3—4 л/(с·м²)] и воздуха [20—25 л/(с·м²)]; наконец, отмывка фильтра в течение 2 мин водой, подаваемой с интенсивностью 6—8 л/(с·м²).

Напорные фильтры. Все до сих пор рассмотренные сооружения очистки воды по принципу своей работы являлись самотечными. Поэтому после таких очистных сооружений в систему водоснабжения должна включаться насосная станция второго подъема, а вода подвергаться двойной перекачке.

Применение напорных очистных сооружений, т. е. сооружений, позволяющих проводить через них очищаемую воду под напором насосов (станции первого подъема), дает возможность исключить из системы водоснабжения насосную станцию второго подъема, что значительно сокращает как строительные, так и эксплуатационные расходы. Напорные фильтры находят широкое применение в системах производственных водопроводов, где часто требуемая степень осветления может быть достигнута при помощи одного фильтрования, что позволяет исключить предварительные стадии очистки воды в отстойниках или осветлителях, а иногда и коагулирование.

Как сказано, через напорные фильтры вода пропускается под определенным напором. При этом после прохождения фильтров остается еще достаточный напор для подачи воды в напорный резервуар, башню либо непосредственно в сеть, снабжающую потребителей.

Напорные фильтры выполняются в виде стальных закрытых цилиндрических резервуаров, рассчитанных на заданное внутреннее давле-

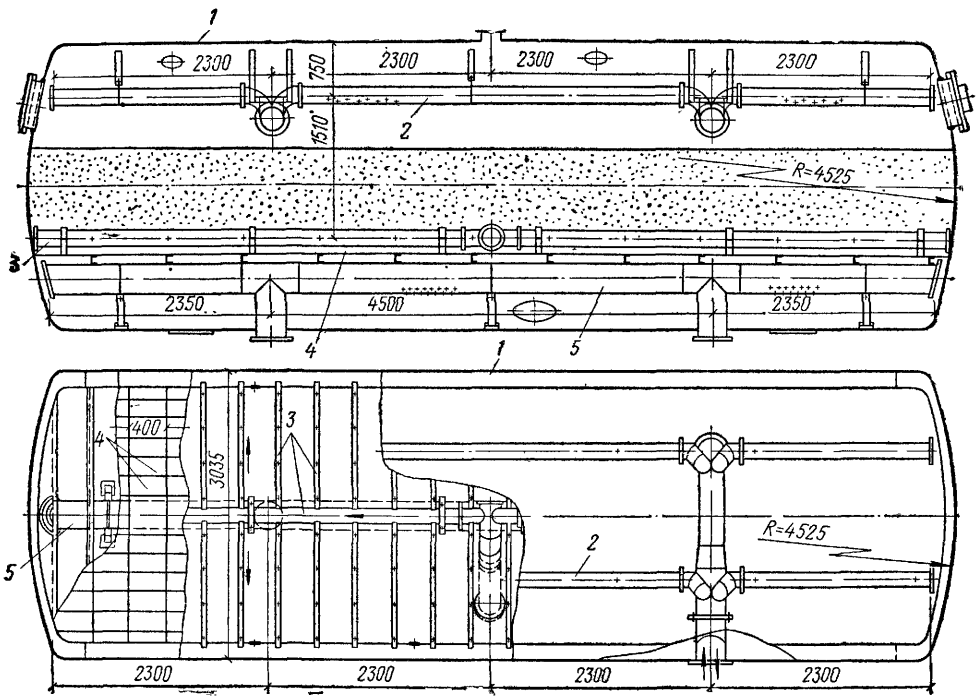


Рис. V.52

1 — корпус фильтра; *2* — верхние дырчатые трубы для распределения фильтруемой и сбора промывной воды; *3* — распределительная система для воздуха; *4* — щелевой дренаж; *5* — нижний дырчатый коллектор

ние. Предельные потери напора в напорных фильтрах принимают обычно равными 0,6—1 кгс/см².

Основные элементы и оборудование напорных фильтров те же, что и самотечных, т. е. дренаж, фильтрующие, а иногда и поддерживающие слои, трубы и регулирующая арматура для подачи и отвода фильтруе-

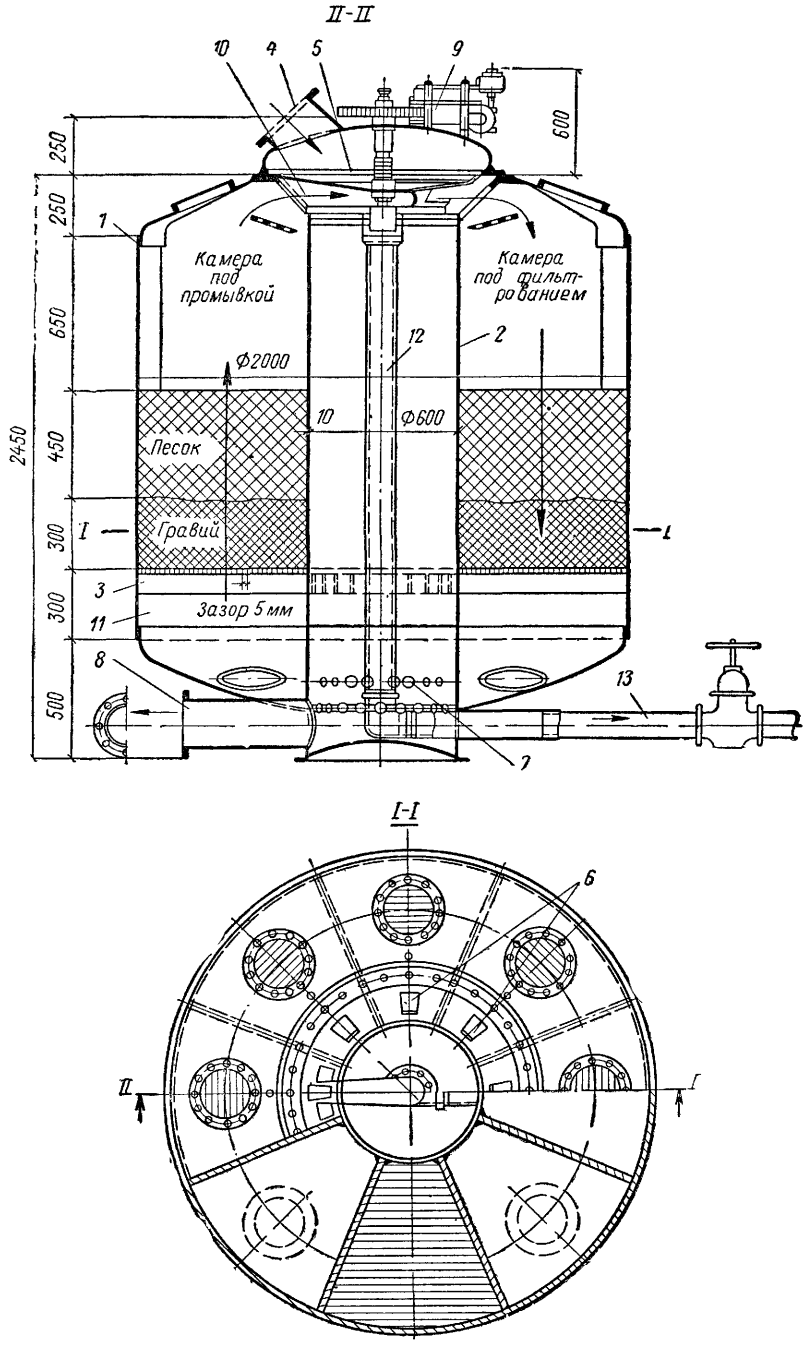


Рис. V.53

мой и промывной воды, а в некоторых случаях устройства для подачи воздуха.

На рис. V.51 показан вертикальный напорный фильтр. Этот фильтр оборудован распределительными трубчатыми системами для отвода осветленной воды, а также подачи промывной воды и сжатого воздуха. Осветляемая вода подается по напорной трубе, заканчивающейся воронкой на расчетной (по условиям промывки) высоте над поверхностью песка. При промывке фильтра через эту же воронку удаляется с фильтра отработанная промывная вода.

Наибольший диаметр изготовляемых у нас вертикальных фильтров 3,4 м, что соответствует фильтрующей площади около 9 м^2.

Толщина слоя фильтрующего материала для фильтров всех диаметров принята равной 1 м.

Для станций большой производительности требуется значительное число таких фильтров. В этих случаях может быть целесообразной установка горизонтальных фильтров, которые при том же диаметре могут дать значительно бóльшую площадь фильтрования за счет увеличения длины цилиндра.

На рис. V.52 показан напорный горизонтальный фильтр (по проекту Союзводоканалпроекта), не имеющий поддерживающих слоев. Конструкция дренажа в таких фильтрах аналогична конструкциям дренажей, применяемых для самотечных фильтров без поддерживающих слоев. Для очистки загрузки предусмотрены продувка и промывка.

Сверхскоростные фильтры системы Г. Н. Никифорова. Такой фильтр был предложен в 1933 г.

Сверхскоростные фильтры работают при скоростях фильтрования от 25 до 50 и даже до 100 м/ч. Эти фильтры могут применяться в тех случаях, когда к прозрачности фильтрата не предъявляется особо высоких требований (преимущественно при грубом осветлении воды для производственных нужд). Значительные потери напора на фильтре потребовали пропуска воды через него под напором; быстрое засорение фильтрующего материала привело к созданию особой автоматической системы промывки фильтров.

На рис. V.53 показан сверхскоростной вертикальный фильтр системы Г. Н. Никифорова. Фильтр выполнен в виде металлического резервуара *1* цилиндрической формы. Внутри резервуара располагается другой цилиндр *2* меньшего диаметра. Загрузка расположена в кольцевом пространстве между стенками этих цилиндров. На дренажное днище *3* уложены слои поддерживающего материала (гравия) и затем слой песка. В вертикальном направлении фильтр разделен радиально расположенными вертикальными перегородками на восемь равных камер. Перегородки идут от верха фильтра до дренажного днища. В междудонном пространстве (между дренажным и нижним днищами фильтра) перегородок не имеется.

Вода поступает на фильтр по напорной трубе *4* в распределительный колпак *5* и из него через окна или щели *6* — в камеры фильтра (во все, кроме одной), проходит через загрузку, дренажное днище и из междудонного пространства поступает через отверстия *7* в центральный цилиндр, из которого фильтрат отводится по напорной трубе *8*.

В верхней части фильтра вращается (при помощи электродвигателя *9*) патрубок *10*, приемное отверстие которого последовательно останавливается перед входным окном *6* каждой из камер фильтра. В то время как семь камер работают на фильтрование, та камера, против окна которой остановился патрубок *10*, автоматически выключается из рабо-

ты на фильтрование, и поступление воды в нее прекращается. Одновременно с этим вода из междудонного пространства *11* под имеющимся там напором устремляется в выключенную из работы камеру в обратном направлении и промывает фильтрующий материал.

Грязная промывная вода уходит через патрубок *10* в центральный стояк *12* и отводится из фильтра по трубе *13*.

Движение патрубка *10* — прерывистое, чередующееся с остановками его приемного отверстия против окна каждой камеры для ее промывки (что осуществляется при помощи специально устроенного зубчатого передаточного механизма).

Движение патрубка обеспечивает постепенное закрывание и открывание окон, т. е. включение или выключение отдельных камер фильтра.

Так как камеры фильтра через междудонное пространство сообщаются друг с другом, в фильтре имеет место постоянная разность давлений в распределительном барабане и сборной шахте (соединенной с междудонным пространством). Таким образом, во всех камерах, работающих на фильтрование, в любой момент суммарные потери напора при прохождении воды через фильтр есть величина постоянная. Так как по мере загрязнения фильтра сопротивление его будет возрастать, то количество проходящей через камеру воды будет соответственно уменьшаться, т. е. скорость фильтрования будет уменьшаться от начальной наибольшей величины $v_н$ (в только что промытой камере) до $v_к$ (в камере перед очередной промывкой).

Для определения производительности фильтра принимают среднюю расчетную скорость фильтрования:

$$v_{ср} = \frac{v_н + v_к}{2}.$$

Полный цикл работы рассмотренного фильтра 80 мин, из которых каждая камера 71 мин работает на фильтрование, 6 мин — на промывку и 3 мин — на операции, связанные с промывкой.

Дальнейшее развитие идеи сверхскоростного фильтрования привело к созданию батарей напорных сверхскоростных мешалочных фильтров, автоматически управляемых при помощи электрифицированных задвижек на линиях труб, обслуживающих фильтры.

Глава 21

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ И УНИЧТОЖЕНИЕ В НЕЙ ЗАПАХОВ И ПРИВКУСОВ

§ 111. ЗАДАЧИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Отстаивание и фильтрование воды значительно уменьшают количество содержащихся в ней микроорганизмов, но не дают все же гарантии окончательного их удаления. Даже в хорошо эксплуатируемых очистных сооружениях через фильтры проходит часть бактерий, содержавшихся в воде источников. Для окончательного удаления микроорганизмов применяют обеззараживание (дезинфекцию) воды. В современных очистных сооружениях обеззараживание воды производится во всех случаях, когда источник водоснабжения ненадежен с санитарной точки зрения.

Обеззараживанию, как правило, подвергается вода, уже прошед-

шая остальные стадии очистки — коагулирование, отстаивание, фильтрование, так как в осветленной воде отсутствуют частицы взвешенных веществ, в которых могут находиться бактерии, оставаясь таким образом защищенными от действия дезинфицирующих средств.

В некоторых случаях дезинфекция применяется как единственная самостоятельная мера очистки воды (например, при использовании подземных вод, ненадежных с санитарной точки зрения).

Обеззараживание воды может быть осуществлено при помощи различных мероприятий: хлорирования, озонирования, бактерицидного облучения и др.

В современной практике очистки воды наиболее широкое распространение получила ее дезинфекция путем хлорирования.

§ 112. ХЛОРИРОВАНИЕ ВОДЫ

Для хлорирования воды на водопроводных очистных станциях используется жидкий хлор и хлорная известь (для станций малой производительности).

Хлорирование воды жидким хлором. При введении хлора в воду образуются хлорноватистая и соляная кислоты

$$Cl_2 + H_2O = HOCl + HCl.$$

Далее происходит диссоциация образовавшейся хлорноватистой кислоты

$$HOCl \rightleftarrows H^+ + OCl^-.$$

Получающиеся в результате диссоциации хлорноватистой кислоты гипохлоритные ионы OCl^- обладают наряду с недиссоциированными молекулами хлорноватистой кислоты бактерицидным свойством.

Сумму $Cl_2+HOCl+OCl^-$ называют свободным активным хлором.

При наличии в воде аммонийных соединений или при специальном введении в воду аммиака (аммонизация воды — см. § 114) образуются монохлорамины NH_2Cl и дихлорамины $NHCl_2$, также оказывающие бактерицидное действие, несколько меньшее, чем свободный хлор, но более продолжительное. Хлор в виде хлораминов в отличие от свободного называется связанным активным хлором.

Количество активного хлора, необходимого для обеззараживания воды, должно определяться не по количеству болезнетворных бактерий, а по всему количеству органических веществ и микроорганизмов (а также и неорганических веществ, способных к окислению), которые могут находиться в хлорируемой воде.

Правильное назначение дозы хлора является исключительно важным. Недостаточная доза хлора может привести к тому, что он не окажет необходимого бактерицидного действия; излишняя доза хлора ухудшает вкусовые качества воды. Поэтому доза хлора должна быть установлена в зависимости от индивидуальных свойств очищаемой воды на основании опытов с этой водой.

Расчетная доза хлора при проектировании обеззараживающей установки должна быть принята исходя из необходимости очистки воды в период ее максимального загрязнения (например, в период паводков).

Показателем достаточности принятой дозы хлора служит наличие в воде так называемого остаточного хлора (остающегося в воде от введенной дозы после окисления находящихся в воде веществ). Согласно требованиям ГОСТ 2874—73, концентрация остаточного хлора в воде

перед поступлением ее в сеть должна находиться в пределах 0,3—0,5 мг/л.

За расчетную следует принимать ту дозу хлора, которая обеспечивает указанное количество остаточного хлора. Расчетная доза назначается в результате пробного хлорирования.

Для осветленной речной воды доза хлора обычно колеблется в пределах 1,5—3 мг/л; при хлорировании подземных вод доза хлора чаще всего не превышает 1—1,5 мг/л; в отдельных случаях может потребоваться увеличение дозы хлора из-за наличия в воде закисного железа.

При повышенном содержании в воде гуминовых веществ требуемая доза хлора возрастает.

При введении хлора в обрабатываемую воду должны быть обеспечены хорошее смешивание его с водой и достаточная продолжительность (не менее 30 мин) его контакта с водой до подачи ее потребителю. Хлорирование уже осветленной воды обычно производят перед поступлением ее в резервуар чистой воды, где и обеспечивается необходимое для их контакта время.

Вместо хлорирования воды после отстойников и фильтров в практике водоочистки иногда применяют хлорирование ее перед поступлением на отстойники (предварительное хлорирование) — до смесителя, а иногда перед подачей на фильтр.

Предварительное хлорирование способствует коагуляции, окисляя органические вещества, которые тормозят этот процесс, и, следовательно, позволяет уменьшить дозу коагулянта, а также обеспечивает хорошее санитарное состояние самих очистных сооружений. Предварительное хлорирование требует повышения доз хлора, так как значительная часть его идет на окисление органических веществ, содержащихся в еще неосветленной воде.

Вводя хлор до и после очистных сооружений, можно снизить общий расход хлора по сравнению с расходом его при предварительном хлорировании, сохранив преимущества, даваемые последним. Такой метод носит название двойного хлорирования.

Хлор поступает на станции в металлических баллонах в сжиженном состоянии под давлением 6—8 кгс/см^2. Стандартные баллоны содержат 25—40 (малые) и 100 (большие) кг жидкого хлора[1].

Из баллонов хлор подается в воду через специальные приборы — хлораторы (газодозаторы), в которых осуществляется его дозирование и смешивание с некоторым количеством воды. Получаемая «хлорная вода» поступает в обрабатываемую воду.

Существуют различные системы хлораторов: одни из них рассчитаны на непрерывную подачу определенных количеств газа в единицу времени (хлораторы непрерывного действия), другие — на отмеривание определенных порций газа (порционные). Существуют также хлораторы, автоматически меняющие количество подаваемого хлора при изменении расхода обрабатываемой воды.

Кроме того, различают хлораторы напорные и вакуумные. Недостатком напорных хлораторов является возможность утечки из них хлора. Ввиду ядовитости хлора утечка его представляет опасность для обслуживающего персонала. Эта опасность устранена в вакуумных хлораторах. В них газ находится под давлением ниже атмосферного, что исключает возможность его утечки в помещение. В силу этого вакуумные хло-

---

[1] На станциях большой производительности хлор (поставляемый в железнодорожных цистернах) обычно хранят в металлических бочках емкостью 700—3000 кг.

раторы рекомендуются для преимущественного использования в установках для обеззараживания воды.

Хлор прежде всего поступает в промежуточный баллон, в котором он переходит из жидкого в газообразное состояние и где отделяются загрязняющие хлор примеси. Из промежуточного баллона хлор поступает в хлоратор. Для дополнительного контроля за расходом хлора баллон с ним устанавливается на весах.

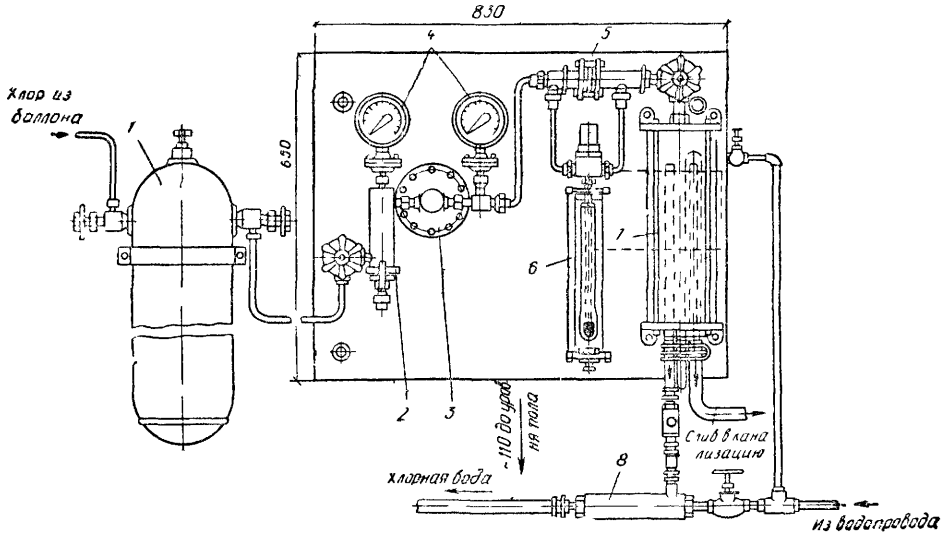


Рис. V.54

На рис. V.54 показано устройство вакуумного хлоратора ВНИИГС. В состав его входят: промежуточный баллон с хлором *1*; фильтр *2*; редукционный клапан *3*, который понижает давление в трубке, подающей хлор; манометры *4*; измерительная шайба *5*; показатель дозы хлора *6*; смеситель *7*; эжектор *8*, создающий разрежение в хлораторе.

Так как из одного баллона (при комнатной температуре) может быть получено лишь около 0,5—0,7 кг хлора в 1 ч, то при большом общем расходе хлора может возникнуть необходимость одновременного использования значительного числа баллонов. Во избежание этого принимают меры по увеличению съема хлора с баллонов, обогревая их нагретым воздухом или водой. Этим путем можно увеличить съем хлора с одного баллона до 10 кг в 1 ч.

Однако на крупных водоочистных станциях этих мероприятий оказывается все же недостаточно и наиболее целесообразно применять для хлора большеемкую тару.

Наряду с приведенным типом хлоратора в нашей практике получили применение вакуумные хлораторы системы проф. Л. А. Кульского, выпускаемые промышленностью. Эти хлораторы изготовляются различной производительности — от 0,04 до 25 кг хлора в 1 ч.

При проектировании и эксплуатации хлораторных установок надо учитывать требования, направленные на предохранение обслуживающего персонала очистной станции от вредного действия хлора. Помещение хлораторной должно быть расположено в первом этаже и либо примыкать к зданию фильтровальной или насосной станции, либо находиться в отдельном здании (на весьма больших установках). В помещении

хлораторной, примыкающем к зданию фильтровальной станции, должно быть две двери: одна — ведущая в помещение станции, другая — ведущая наружу. Двери должны герметически закрываться. Помещение хлораторной должно иметь хотя бы одно окно. Необходимо предусмотреть систему искусственной вытяжной вентиляции.

Если в сутки расходуется более трех баллонов жидкого хлора, то при хлораторной или вблизи нее на территории станции устраивают дежурный склад баллонов, рассчитанный на хранение трехсуточного запаса хлора. Должна быть обеспечена возможность подогревания баллонов на складе перед доставкой их в хлораторную.

Хлорирование воды хлорной известью. Использование хлорной извести, активным компонентом которой является гипохлорит кальция $Ca(OCl)_2$, может быть допущено лишь на станциях малой (до 3 тыс. $м^3$/сутки) производительности.

Техническая хлорная известь содержит 25—30% активного хлора.

В результате введения в воду хлорной извести, как и при введении в нее хлора, получаются хлорноватистая кислота HOCl и гипохлоритные ионы OCl^-. Для приготовления раствора хлорной извести применяют установку, аналогичную установке, в которой производится приготовление раствора коагулянта. В состав ее входят баки, куда засыпают хлорную известь и добавляют воду. Известковое молоко поступает в рабочие баки, где приготовляется раствор концентрацией до 1—2%. При приготовлении раствора он перемешивается механическими мешалками. Из рабочих баков хлорная вода через дозировочные устройства вводится в дезинфицируемую воду.

§ 113. ПЕРЕХЛОРИРОВАНИЕ И ДЕХЛОРИРОВАНИЕ

В практике водоочистки применяют иногда хлорирование воды дозами хлора, значительно превышающими обычно требуемые для ее дезинфекции, т. е. так называемое перехлорирование. Дозу хлора в этом случае принимают равной 5—10 мг/л и более.

Если качество воды источника подвержено резким и быстрым изменениям, то хлорирование воды обычным методом может не обеспечить ее надежного обеззараживания. Периодическое ухудшение качества исходной воды может оказаться неучтенным лабораторией, вследствие чего снизится качество подаваемой в сеть воды. В таких случаях употребление избыточных доз хлора создает гарантию надежности обеззараживания воды. Перехлорирование применяют так же, как меру борьбы с цветностью воды, с запахами и привкусами в природной воде.

При перехлорировании хлор вводят в воду перед очистными сооружениями; при этом количество хлора, остающегося в воде после прохождения ею всех очистных сооружений, бывает еще настолько велико, что вызывает ухудшение ее вкуса. Поэтому при перехлорировании требуется последующее удаление избыточных количеств хлора из воды до подачи ее в сеть.

Последний процесс называется дехлорированием и осуществляется введением в хлорированную воду веществ, способных связывать избыточный хлор. В качестве таких веществ можно применять гипосульфит натрия (серноватисто-кислый натрий $Na_2S_2O_3$), сернистый газ SO_2, сульфит натрия Na_2SO_3 и др.

Процесс дехлорирования при использовании сульфита натрия идет по уравнению

$$SO_3^{2-} + OCl^- = SO_4^{2-} + Cl^-.$$

На 1 мг удаляемого хлора требуется 1,8 мг безводного сульфита натрия или 3,6 мг $Na_2SO_4 \cdot 7H_2O$.

Гипосульфит подают в воду в виде 1—1,5%-ного раствора, приготовляемого в баках, подобных бакам, применяемым при коагулировании.

Сульфит натрия как средство для дехлорирования имеет тот недостаток, что может быть бактериально загрязнен, и, следовательно, при его использовании не исключена возможность повторного загрязнения воды микроорганизмами.

В этом отношении имеет преимущество применение для дехлорирования сернистого газа как химически чистого продукта. Дозирование его производится газодозаторами той же конструкции, что и для хлора. При введении в воду сернистого газа реакция дехлорирования протекает следующим образом:

$$SO_2 + OCl^- + H_2O = SO_4^{2-} + Cl^- + 2H^+$$

и ведет к полному удалению хлора.

Для дехлорирования применяют также фильтрование на угольных фильтрах. Для загрузки угольных фильтров может быть использован активированный уголь. Активированный уголь (изготовляемый различными способами) имеет благодаря своей большой пористости весьма значительную поверхность и, следовательно, повышенную активность в отношении задержания хлора, содержащегося в фильтруемой через него воде. Высоту слоя угля назначают в зависимости от заданных начальной и конечной концентраций содержащегося в воде хлора и скорости фильтрования. Практически высоту слоя угля принимают около 2,5 м, скорость фильтрования — в пределах 20—30 м/ч, крупность зерен угля — 1,5—2,5 мм.

Так как на угольном фильтре протекают и процессы адсорбции, поверхность зерен угля после некоторого времени его работы покрывается слоем сорбированных веществ, препятствующих работе фильтра, вследствие чего требуется его регенерация. Для регенерации фильтр промывают горячим раствором кальцинированной соды или едкого натра примерно 1 раз в месяц.

Хлорирование большими дозами хлора применяют также в системах водоснабжения промышленных предприятий, использующих воду для охлаждения (в частности, на тепловых электростанциях). Здесь хлорирование имеет целью борьбу с биологическим обрастанием стенок труб охладительных устройств и аппаратуры. При громадных количествах охлаждающей воды, подвергаемой хлорированию, более экономичным оказывается применение не непрерывного, а периодического хлорирования. В зависимости от качества воды и интенсивности процессов биологического обрастания хлорирование может производиться ежедневно при промежутках в несколько часов или с интервалом в несколько дней. Доза хлора назначается в зависимости от окисляемости воды и находится в пределах 1,5—6,5 мг/л (а иногда и выше). Дозу и режим хлорирования в каждом отдельном случае следует назначать после проведения пробного хлорирования воды используемого источника. При хлорировании охлаждающей воды нужно, чтобы содержание остаточного хлора в воде, выходящей из наиболее удаленного теплообменного аппарата, равнялось 0,5—1 мг/л.

В большинстве случаев в подобных установках осуществляется непрерывное приготовление хлорной воды (обычным путем) и накопление ее в баке, емкость которого рассчитана на один период хлорирования. Из бака хлорная вода в заданное время подается в охлаждающую воду.

§ 114. ХЛОРИРОВАНИЕ С АММОНИЗАЦИЕЙ

Как было сказано, введение в воду хлора вызывает появление в ней специфических хлорных запахов и привкусов. Они ощущаются уже при содержании в воде хлора в количестве 0,3—0,4 мг/л. Кроме того, если в исходной воде содержатся некоторые вещества (хотя бы в самых ничтожных дозах), например фенолы, введение в нее хлора вызывает появление в ней сильных неприятных запахов и привкусов. Для борьбы с этими запахами и привкусами применяют аммонизацию воды, т. е. вводят в воду аммиак или его соли одновременно с хлором.

Для обеспечения более длительного бактерицидного действия хлора, а также для предотвращения появления в воде хлорфенольных запахов и привкусов применяют предварительную аммонизацию, т. е. аммиак вводят в воду раньше хлора. Для борьбы с хлорными запахами и привкусами аммиак вводят в воду позже хлора, перед ее поступлением в резервуар чистой воды.

При аммонизации процесс хлорирования протекает несколько иначе. При взаимодействии аммиака (его водного раствора NH_4OH) с хлорноватистой кислотой HOCl, образующейся при хлорировании воды, получаются хлорамины, например

$$NH_4OH + HOCl = NH_2Cl + 2H_2O$$

или

$$NH_4OH + 2HOCl = NHCl_2 + 3H_2O.$$

Хлорамины изменяют характер взаимодействия хлора с фенолами и препятствуют образованию хлорфенольных запахов. В то же время они в известной мере ослабляют бактерицидное действие хлора, но удлиняют период этого действия. Соотношение доз аммиака и хлора зависит от физико-химических свойств воды и устанавливается в каждом случае опытным путем.

При аммонизации должен быть обеспечен контакт воды с хлором продолжительностью не менее 1 ч, т. е. более длительный, чем при использовании одного хлора.

Для введения и дозирования аммиака применяют дозаторы (аммонизаторы), подобные хлораторам, но выполненные из материалов, устойчивых по отношению к аммиаку, и имеющие некоторые конструктивные особенности. Газообразный аммиак доставляется на станцию в баллонах. Кроме аммиака для аммонизации используют также сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$.

Применение хлорирования с аммонизацией является также эффективным средством борьбы с развитием бактериальной жизни в трубах водопроводной сети и, в частности, с железобактериями, вызывающими зарастание труб.

§ 115. ОЗОНИРОВАНИЕ ВОДЫ

Использование озона для обработки воды, в частности для ее обеззараживания, получает в настоящее время широкое распространение.

Озонирование осуществляется пропуском через воду озонированного воздуха, т. е. воздуха, в котором кислород частично переведен в трехатомную форму (O_3).

Озон обладает высокой бактерицидностью и обеспечивает надежное обеззараживание воды (после ее осветления). Он обладает рядом преимуществ по сравнению с хлором — получается непосредственно на

станции очистки воды, не ухудшает вкусовых качеств воды, не ведет к возникновению в ней запахов.

Озон токсичен: предельно допустимое содержание его в воздухе помещений, где находятся люди, составляет 0,00001 мг/л. В связи с этим в озонаторных установках должны быть приняты все меры по предотвращению возможности проникновения озона в помещение.

Доза озона для обеззараживания воды колеблется в пределах от 0,6 до 3,5 мг/л (в зависимости от свойств обрабатываемой воды).

Атмосферный воздух, забираемый для производства озона, должен быть очищен от пыли, а также осушен. Наличие влаги в используемом воздухе вызывает увеличение расхода энергии, затрачиваемой на получение озона

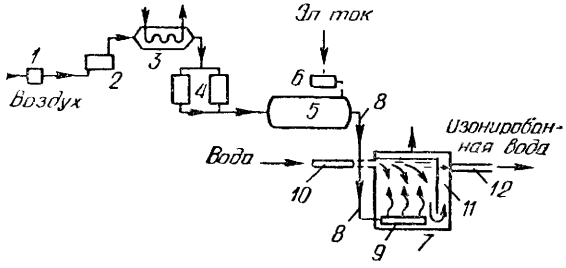


Рис. V 55

Упрощенная схема озонаторной установки показана на рис. V.55. Воздух забирается через фильтр *1* и компрессором *2* подается в охладитель *3*, проходит через устройства для осушения *4* и поступает в озонаторы *5*. Охлаждение и осушение воздуха осуществляются различными методами. Озон получается в результате тихого электрического разряда в воздухе. Ток подается к озонаторам через трансформаторы *6*. Генераторы озона различных систем серийно изготовляются промышленностью.

Для смешения воды с озоном служат смесители (контактные резервуары) *7*. Озон (вместе с воздухом) подается туда по трубопроводу *8* через распределительную систему *9*. Подача озона в воду может осуществляться через систему пористых труб, эжекторами и др. Обрабатываемая вода поступает в смеситель по трубе *10*. Контакт воды с мельчайшими пузырьками озона происходит в условиях противотока.

Озонированная вода поступает в карман (отсек *11*) и отводится по трубе *12* в резервуар чистой воды.

Расход электроэнергии на производство озона колеблется в широких пределах и в значительной степени зависит от применения и степени осушения воздуха. При хорошо осушенном воздухе расход энергии составляет 13—29 квт·ч на 1 кг озона; при отсутствии осушения он возрастает в 2—3 раза.

Проведенные исследования и опыт показывают возможность использования озона для борьбы с вирусами.

Как сказано далее (§ 117), озонирование успешно используется также для обесцвечивания воды, борьбы с запахами и привкусами в ней.

В ряде случаев применение озона является целесообразным для комплексного решения указанных задач — обеззараживания, обесцвечивания, борьбы с привкусами и запахами.

Наконец, озонирование может использоваться для удаления из воды солей железа и марганца.

§ 116. БАКТЕРИЦИДНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ВОДЫ

Уничтожение бактерий, находящихся в воде, может быть достигнуто путем обработки воды ультрафиолетовыми лучами. Бактерицидным действием обладают в основном ультрафиолетовые лучи с длиной волны в промежутке 2200—2800 Å.

Различные виды бактерий имеют различную степень сопротивляемости действию бактерицидных лучей, что учитывается коэффициентом сопротивляемости бактерий, определяемым в результате исследований.

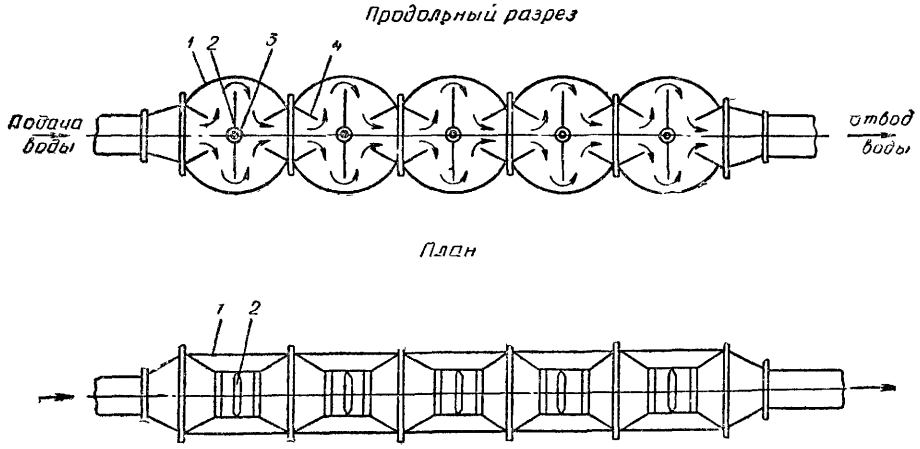


Рис. V.56

Процесс обеззараживания воды бактерицидными лучами осуществляется на специальных установках, в которых вода относительно тонким слоем обтекает источники бактерицидного излучения — ртутно-кварцевые или аргоно-ртутные лампы. Вода, подвергаемая облучению, должна обладать наибольшей проницаемостью для бактерицидных лучей, т. е. быть возможно более прозрачной.

Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова разработаны технологические схемы, методы расчета и ряд аппаратов для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами (для станций небольшой производительности).

Обеззараживающие установки устраиваются напорными и безнапорными.

На рис. V.56 представлено схематическое устройство напорной обеззараживающей установки, состоящей из нескольких (двух—пяти) камер *1*, по которым последовательно проходит обрабатываемая вода. В каждой камере установлена ртутно-кварцевая лампа *2*, заключенная в цилиндрический кварцевый кожух *3*. Вода, попадая в камеру, направляется радиально расположенными перегородками *4*, обеспечивающими ее перемешивание и прохождение вблизи ламп.

Производительность такой установки в зависимости от числа камер равна 30—150 м³/ч. Конструкция установки допускает внутреннее давление воды до 5 кгс/см².

При расчете бактерицидной установки прежде всего определяют требуемую мощность потока бактерицидного излучения (в Вт):

$$F_б = \frac{Q\alpha k \lg \frac{P}{P_o}}{1563{,}4\eta_п \eta_o},$$

где Q — расчетный расход воды в м³/ч;

α — коэффициент поглощения облучаемой воды в см $^{-1}$, принимаемый от 0,1—0,15 см$^{-1}$ для чистых бесцветных подземных вод до 0,3 см$^{-1}$ для осветленных поверхностных вод;

k — коэффициент сопротивляемости облучаемых бактерий, принимаемый обычно равным 2500 мкм·Вт·с/см²;

P и P_o — коли-индекс воды соответственно до облучения и после облучения (последний по ГОСТ 2874—73 не должен быть больше трех);

$\eta_п$ — коэффициент использования потока бактерицидного излучения, зависящий от типа установки;

η_o — коэффициент использования бактерицидного облучения; оба последних коэффициента принимаются обычно равными 0,9.

Определив $F_б$ и зная мощность потока $F_л$, испускаемого одной лампой, получим требуемое число ламп:

$$n = \frac{F_б}{F_л}.$$

Метод обеззараживания воды бактерицидными лучами имеет ряд преимуществ по сравнению с методом хлорирования: относительная простота эксплуатации, отсутствие необходимости введения в дезинфицируемую воду каких-либо реагентов, отсутствие ухудшения вкусовых качеств воды.

Расход электроэнергии на облучение составляет для подземных вод 10—15 Вт·ч/м³, для осветленных поверхностных вод — до 30 Вт·ч/м³.

Стоимость обеззараживания воды бактерицидными лучами не превышает стоимости хлорирования.

К недостаткам метода следует отнести отсутствие простых и надежных способов контроля за эффектом обеззараживания и невозможность использования метода для обеззараживания вод, отличающихся повышенной мутностью и цветностью.

§ 117. УНИЧТОЖЕНИЕ ЗАПАХОВ И ПРИВКУСОВ В ВОДЕ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Содержащиеся в воде природных источников различные вещества, а также микроорганизмы могут придавать ей неприятные запахи и привкусы, ухудшающие качество воды и препятствующие использованию ее для питьевых целей.

Весьма часто наличие запахов и привкусов в природной воде обусловливается выделением в результате жизнедеятельности и отмирания находящихся в воде микроорганизмов и водорослей пахнущих веществ. Для борьбы с этими запахами и привкусами можно применять хлорирование. Малые дозы хлора, вызывая отмирание микроорганизмов, могут увеличить запах; лишь увеличенные дозы хлора, достаточные для окисления органических веществ и микроорганизмов, приводят в некоторых случаях к уничтожению запахов и привкусов.

Если хлорирование воды проводится для целей обеззараживания, го

уничтожение запахов и привкусов, имеющихся в природной воде, может быть проведено попутно. Однако при назначении дозы хлора должно быть учтено и количество его, необходимое для окисления микроорганизмов.

Для борьбы с запахами и привкусами, которые вызываются наличием в воде микроорганизмов, применяют также метод сорбционного фильтрования. Воду фильтруют через слой активированного угля, который сорбирует вещества, дающие запахи и привкусы. Объем загрузки фильтра из активированного угля в этом случае составляет 0,06—0,12 м³ на 1 м³/ч фильтруемой воды.

Для тех же целей применяют порошкообразный активированный уголь, который вводят в воду в количестве от 1 до 5 мг/л или непосредственно перед фильтрами, или частично в смеситель и частично перед фильтрами. Опыты показали, что введение всего угля перед фильтрами значительно сокращает его расход. При периодическом появлении в природной воде запахов и привкусов применение угольного порошка имеет экономические преимущества по сравнению с фильтрованием воды на угольных фильтрах.

Наконец, уничтожению привкусов и запахов природной воды может способствовать введение в нее перманганата калия (0,1—2 мг/л).

Запахи и привкусы в воде могут быть вызваны наличием в ней не только микроорганизмов или органических веществ, но и некоторых неорганических веществ, например сероводорода и железа. Уничтожение этих запахов и привкусов производят одновременно с очисткой воды от этих веществ при ее обезжелезивании и удалении сероводорода (см. § 131 и 132).

Глава 22

КОМПОНОВКА СТАНЦИЙ ОСВЕТЛЕНИЯ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ И ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА

§ 118. ВЫБОР ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ КОМПОНОВКА

Ознакомление с задачами и характером работы современных станций очистки воды показывает, что они представляют собой сложный комплекс различных взаимосвязанных инженерных сооружений. Выбор строительной площадки для подобного комплекса, а также размещение на ней отдельных сооружений должны осуществляться в соответствии с их специфическими особенностями и обеспечивать их успешную эксплуатацию и экономичность. Размеры выбранной площадки должны предусматривать не только удобное размещение всех основных и вспомогательных сооружений, помещений и коммуникаций, но и возможность их расширения при дальнейшем развитии станции. Рельеф местности должен обеспечивать самотечное движение воды по цепи очистных сооружений при условии их наименьшего заглубления и наименьшего объема земляных работ, а также легкий отвод и сброс промывных вод Грунты должны соответствовать всем строительным требованиям, не обладать коррозионностью; для всех заглубленных сооружений и сооружений, из которых возможно просачивание воды, нежелательны лёссовые грунты; нежелательно также высокое стояние грунтовых вод.

При выборе места расположения площадки очистных сооружений необходимо учитывать возможность осуществления наиболее эконо-

мичного решения подачи воды от источника к станции и от станции к местам потребления, а также наиболее рационального решения энергоснабжения станции, отвода промывных вод и т. п. Часто очистные сооружения располагаются в непосредственной близости от водоприемных сооружений и насосных станций первого подъема; в этих случаях все эти сооружения входят в общий комплекс сооружений станции очистки воды.

Площадка станции, располагаемая вблизи источника, должна быть гарантирована от затопления ее водой в паводки.

При выборе площадки следует предусматривать возможность организации зоны санитарной охраны.

На генеральном плане станции очистки воды должно быть дано расположение основных сооружений (включая резервуары чистой воды) и ряда вспомогательных сооружений: складов реагентов, фильтрующих и других материалов, хранилищ растворов реагентов, сооружений для регенерации и оборота промывных вод, подсушки осадка, пескового хозяйства, электрических подстанций, отопительных котельных и т. п. На генеральном плане должны быть нанесены все основные пути и коммуникации (дороги, линии труб, каналы, линии электропередачи). На плане должны быть отражены мероприятия по благоустройству и озеленению площадки сооружений.

Основные очистные сооружения в зависимости от полной производительности очистной станции могут располагаться отдельными блоками или объединяться. Кроме того, типы конструкций этих сооружений зависят от климатических условий. Отстойники и осветлители со взвешенным осадком группируются в один или (на крупных станциях) в два и более блоков. Горизонтальные отстойники строятся заглубленными или полузаглубленными в землю. В районах с теплым климатом их устраивают открытыми. В центральных и северных районах СССР отстойники и осветлители со взвешенным осадком устраивают с перекрытием и утепляют. Камеры хлопьеобразования в зависимости от их типа могут быть конструктивно объединены с отстойниками или устроены в отдельных блоках — со смесителями и сооружениями реагентного хозяйства. Фильтры и контактные осветлители в нашей практике, как правило, устанавливают в специальных крытых помещениях. В станциях малой производительности часто в зале фильтров устанавливают осветлители со взвешенным осадком, иногда — вертикальные отстойники.

В подавляющем большинстве случаев все сооружения очистной станции выполняются из железобетона.

Некоторые примеры планировки станций разной производительности приведены далее в § 121.

§ 119. ВЫСОТНАЯ СХЕМА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Как было указано в § 81, при проектировании комплекса очистных сооружений необходимо не только наметить их размещение на плане отведенной под строительство площадки, но и составить предварительную «высотную схему станции», т. е. установить предполагаемые отметки расчетных уровней воды во всех сооружениях. Для этого до получения в результате гидравлических расчетов значений потерь напора в самих сооружениях, арматуре и коммуникациях используются осредненные значения этих потерь, полученные из опыта проектирования и эксплуатации. Для составления предварительных высотных схем могут быть приняты следующие значения потерь напора (в м):

В сооружениях	
в смесителе	0,4—0,5
» камере хлопьеобразования	0,4—0,6
» отстойниках	0,2—0,3
» осветлителях со взвешенным осадком	0,7—0,8
» фильтрах (к концу цикла)	2,5—3
» контактных осветлителях	2,2
В коммуникациях	
от смесителя к отстойникам	0,3
» смесителя к осветлителям	0,5
» отстойников или осветлителей к фильтрам	0,2—0,3
» фильтров к резервуару чистой воды	1

Кроме того, около 0,5 м напора может теряться в измерительной аппаратуре при вводе воды на станцию и при отводе ее.

На рис. V.57 показана упрощенная высотная схема цепи основных очистных сооружений, составленная исходя из максимальных приведенных значений потерь напора. Здесь за нуль условно принята наивысшая отметка в резервуаре чистой воды.

Отметка уровня воды в смесителе является наивысшей и по ней определяется требуемая величина подъема воды насосами станции первого подъема. Сооружения реагентного хозяйства требуют для приготовления растворов реагентов подачи воды на более высокие отметки (чем отметка смесителя), но необходимые для этого количества воды весьма ма-

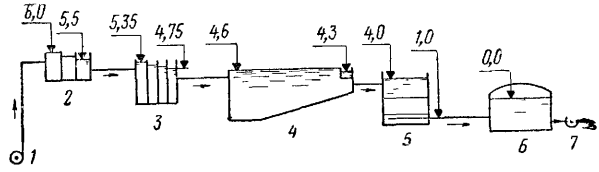


Рис. V.57

1 — насос станции первого подъема; *2* — смеситель; *3* — камера хлопьеобразования; *4* — отстойник; *5* — фильтр; *6* — резервуар чистой воды; *7* — насос станции второго подъема

лы по сравнению с расходом очищаемой воды. Поэтому воду для нужд реагентного хозяйства целесообразно подкачивать на необходимую дополнительную высоту.

После проведения гидравлических расчетов сооружений высотная схема и отметки уровней воды во всех сооружениях уточняются.

§ 120. ПОДСОБНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОМЕЩЕНИЯ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ

К вспомогательным сооружениям очистной станции относятся: склады реагентов — коагулянтов, флокулянтов, извести, хлора; склады фильтрующих материалов; сооружения по удалению промывной воды, регенерации осадка, обороту промывной воды и ее сбросу; сооружения по удалению, сушке и эвакуации осадка из отстойников.

Склады реагентов исходя из условий удобства подачи реагентов в реагентное хозяйство обычно примыкают непосредственно к зданию реагентного хозяйства.

Склады жидкого хлора устраиваются в отдельных помещениях (см. главу 21).

В основном здании очистной станции должны быть предусмотрены

помещения для химических, бактериологических и гидробиологических лабораторий по контролю качества воды с подсобными помещениями, помещениями для работы персонала станции (диспетчерские, кладовые, гардеробы, душевые, мастерские, вентиляционные камеры и т. п.).

Ниже приведены примеры типовых решений генерального плана в типовых проектах очистных станций разной производительности, а также примеры зданий основных сооружений этих станций.

§ 121. ПРИМЕРЫ КОМПОНОВКИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОСВЕТЛЕНИЯ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Специализированными проектными организациями, работающими в области водоснабжения, разрабатываются и периодически обновляются типовые проекты станций очистки воды.

Ниже приводятся некоторые типовые схемы и решения станций осветления и обеззараживания воды.

На рис. V.58—V.60 приведен проект станции осветления и обесцвечивания воды производительностью 12 500 м³/сутки, разработанный ЦНИИЭП инженерного оборудования[1] (рис. V.58— генеральный план; рис. V.59 и V.60— планы соответственно 1-го и 2-го этажей с разрезами). Проектом предусмотрены устройства для предварительного хлорирования, коагулирования сернокислым алюминием и подщелачивания воды,

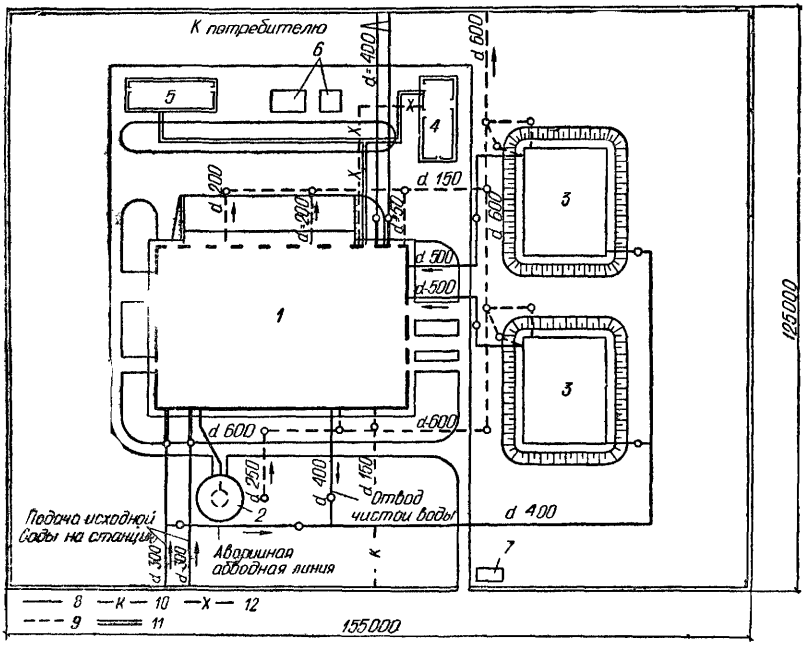


Рис. V.58

1 — здание водоочистной станции; *2* — башня для промывной воды с баком емкостью 300 м³; *3* — резервуары чистой воды; *4* — хлораторная и расходный склад хлора, *5* — котельная, *6* — площадки для угля и золы; *7* — проходная, *8* — линии исходной и очищенной воды, *9* — канализационные линии, *10* — линии бытовой канализации, *11* — линии теплотрассы, *12* — линии хлоргаза

[1] Приводится в обработке, выполненной в книге В. А. Клячко, И. Э. Апельцин. Очистка природных вод М., Стройиздат, 1971.

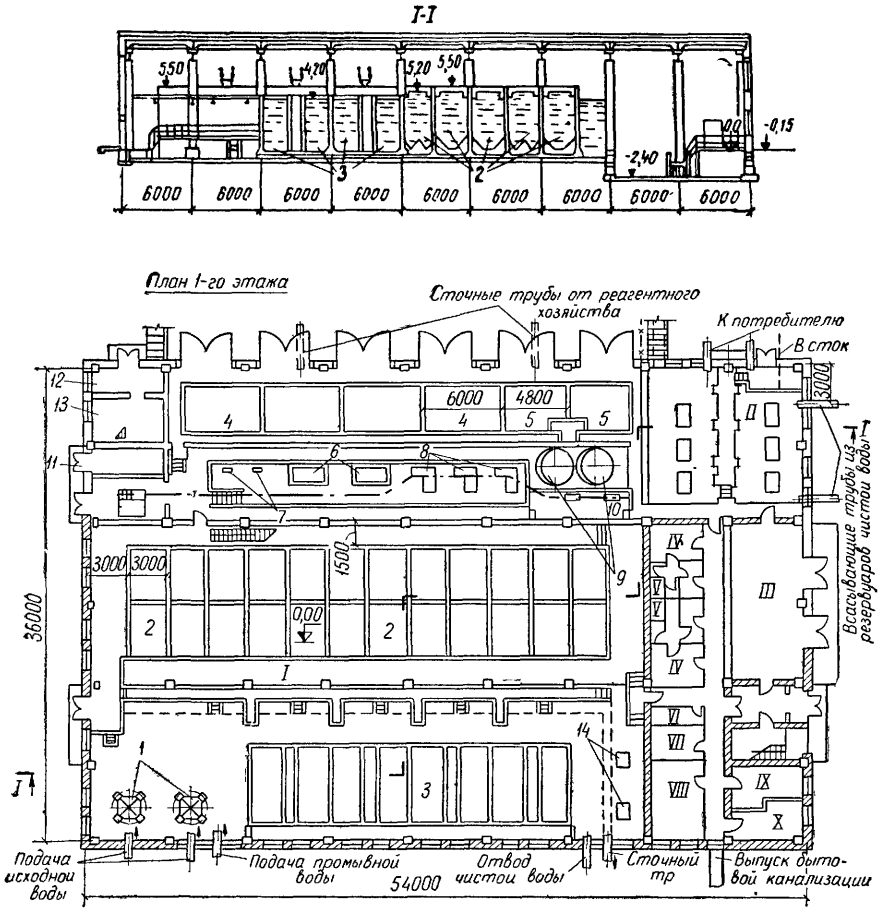


Рис. V.59

I — рабочий зал; *II* — насосная станция второго подъема; *III* — трансформаторная подстанция и щитовые устройства; *IV* — гардероб; *V* — душевые; *VI* — кладовая; *VII* — средоварочная и мойка; *VIII* — химическая лаборатория; *IX* — бактериологическая лаборатория, *X* — контрольная лаборатория; *1* — вихревые смесители; *2* — осветлители; *3* — фильтры; *4* — баки для хранения коагулянта; *5* — баки для известкового теста; *6* — расходные баки для коагулянта; *7* — насосы-дозаторы коагулянта· *8* — воздуходувки; *9* — мешалки известкового молока; *10* — циркуляционные насосы известкового молока; *11* — склад кремнефтористого натрия; *12* — склад активированного угля; *13* — углевальная; *14* — насосы для подкачки в башню промывной воды

а также обработка воды полиакриламидом. Предусмотрена также возможность фторирования воды кремнефтористым натрием, вторичного хлорирования и устранения запахов и привкусов путем использования активированного угля.

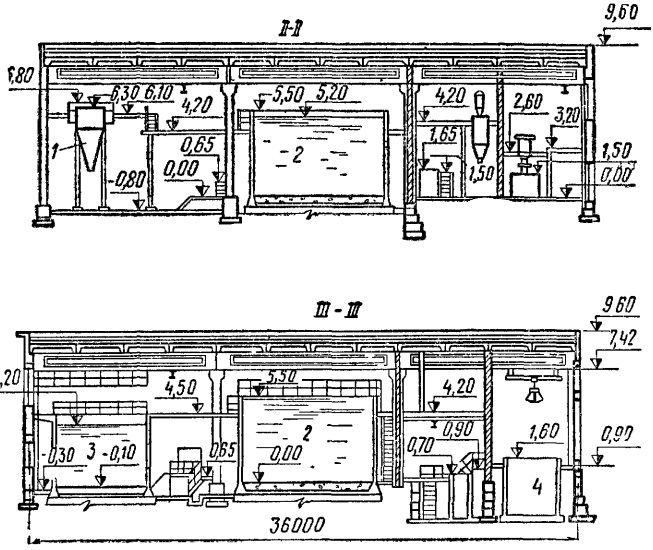
В состав основных сооружений входят: осветлители со взвешенным осадком и фильтры. Используются смесители вихревого типа.

На рис. V.61—V.63 приведен проект очистной станции производительностью 32—40 тыс. м^3/сутки, оборудованной горизонтальными отстойниками и двухслойными фильтрами.

На генеральном плане (рис. V.61) нанесены основные блоки сооружений и следующие линии труб: подающие исходную воду к помещению реагентного хозяйства *а*; подающие воду с введенными в нее реагентами на горизонтальные отстойники *б*; подающие воду из отстойников на фильтры *в*; отводящие фильтрованную воду в сборные

резервуары чистой воды *г*; всасывающие водоводы *д* насосной станции второго подъема и напорные водоводы *е*, подающие очищенную воду потребителю. На станции предусмотрен оборот промывных вод (резервуары и трубопроводы *ж*).

Особенностью компоновки этой станции является расположение насосов второго подъема вместе с фильтрами и реагентным хозяйством в одном блоке *1*.



План 2-го этажа

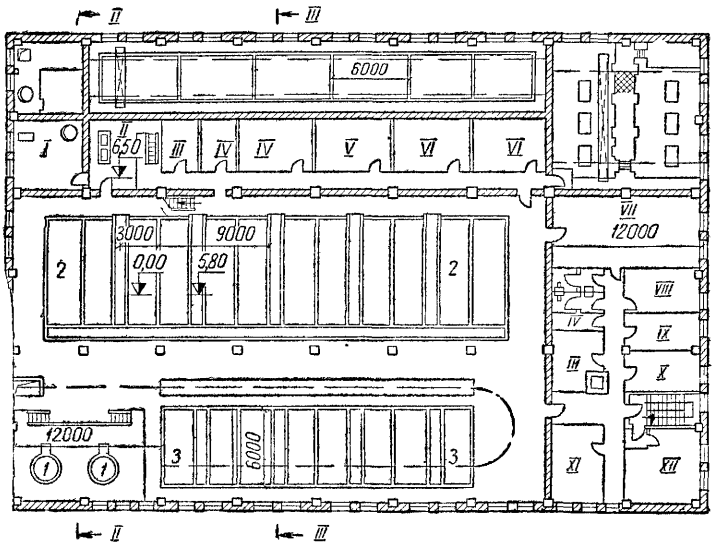


Рис. V 60

I — фтораторная; *II* — дозаторная, *III* — вечтиляционные камеры; *IV* — кладовые, *V* — комната общественных эрганизаций, *VI* — мастерские; *VII* — диспетчерская; *VIII* — комната обслуживающего персонала; *IX* — кабинет начальника станции; *X* — кабинет заведующего лабораторией, *XI* — гидробиологическая лаборатория; *XII* — хлордозаторная; *1* — вихревые смесители; *2* — осветлители; *3* — фильтры, *4* — баки для хранения коагулянта

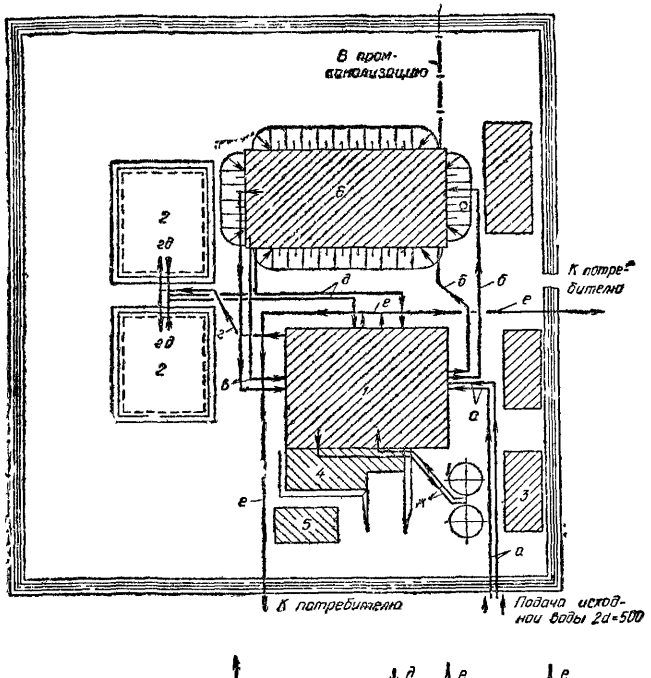


Рис. V 61

1 — блок фильтровальной станции и реагентного хозяйства; *2* — резервуары чистой воды; *3* — блок хлораторной и склада хлора; *4* — растворные баки и резервуары-хранилища коагулянта, *5* — площадка для песка; *6* — горизонтальные отстойники

Рис V 62

1 — фильтры, *2* — расходные баки коагулянта; *3* — бак полиакриламида, *4* — резервуары хранилища раствора, *5* — растворные баки коагулянта, *6* — склад извести и место приготовления известкового молока; *7* — мешалки известкового молока; *8* — смеситель *9* — мешалка угольной пульпы, *10* — насосно-компрессорное оборудование реагентного хозяйства, *11* — насосы станции второго подъема; *12* — промывные насосы, *13*—щитовая, *14* — котельная; *15* — вентиляционные камеры, *16* — мастерская; *17* — хлораторная, *18* и *19* — гардеробы

На рис. V.62 показан план блока фильтровальной станции (совмещенной с насосной станцией второго подъема) и реагентного хозяйства. На рисунке показаны только основные линии труб, обозначенные теми же буквами, что и на рис. V.61. Кроме того, показана напорная линия промывной воды. Лаборатории и помещения обслуживающего персонала размещены на втором этаже в правой части здания (на рисунке не показаны).

На рис. V.63 показан план расположения отстойников и камер хлопьеобразования (блок *6* на рис. V.61). Линии труб обозначены теми же буквами, что и на рис. V. 61.

На рис. V.64 показан генеральный план крупной очистной станции производительностью 100 тыс. м³/сутки (проект Гипрокоммунводоканала). Здесь *1* — блок горизонтальных отстойников и фильтров с примыкающим к нему блоком служебных помещений *2*. Реагентное хозяйство расположено в отдельном здании *3*. На плане показаны места расположения пескового хозяйства *4*, расходный склад хлора *5*, сооружения для обработки промывной воды (для ее повторного использования) *6*. На той же площадке располагаются резервуары чистой воды *7* и насосная станция второго подъема *8*.

В последних проектах станций осветления и обеззараживания

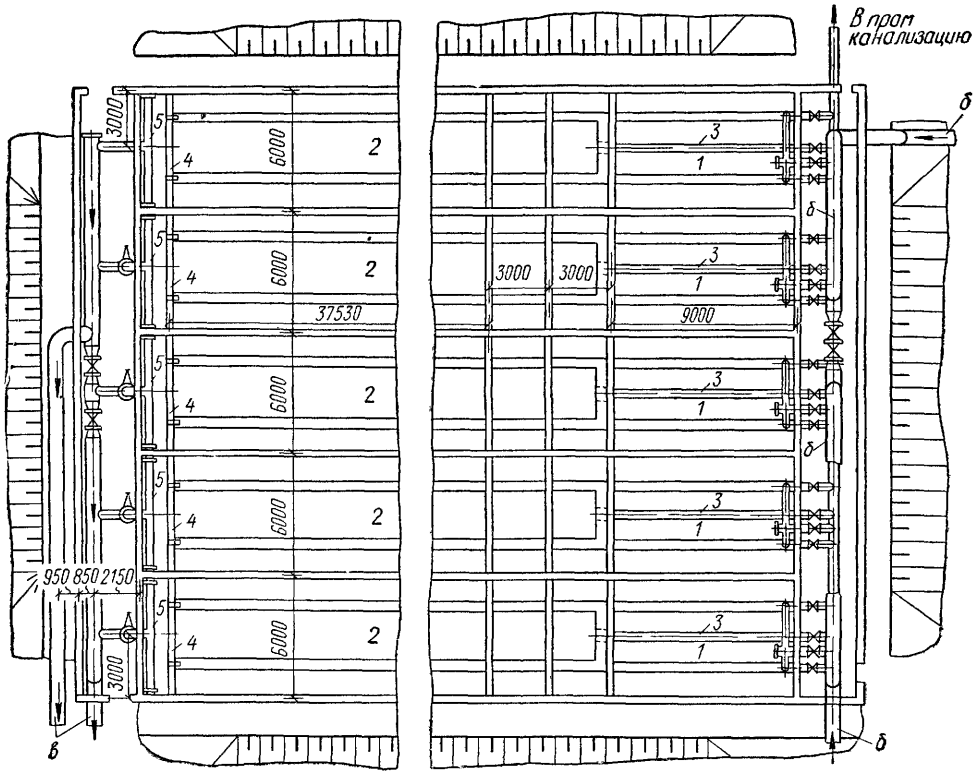


Рис V 63

1 — камеры хлопьеобразования; *2* — отстойники; *3* — сбросные трубы; *4* — дырчатая перегородка; *5* — сборные дырчатые трубы

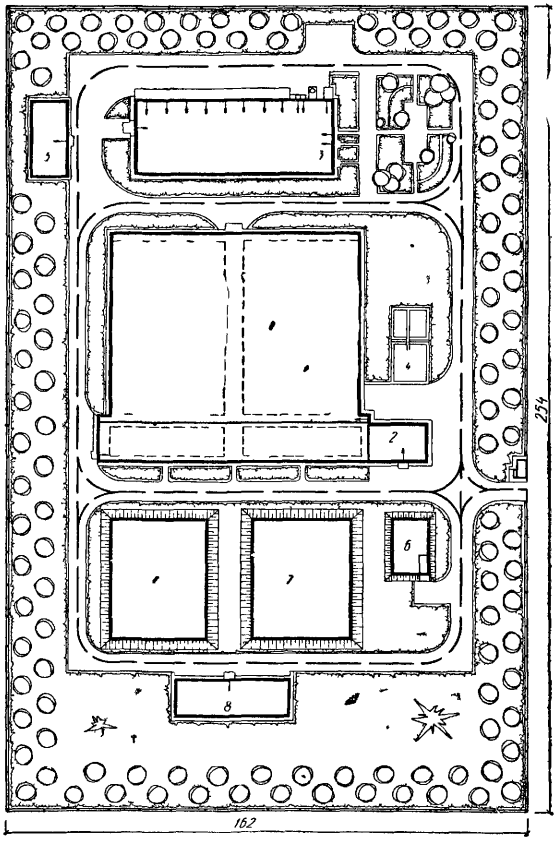


Рис. V 64

воды для устройства сооружений широко применяется сборный железобетон, при проектировании зданий станций используется стандартная сетка пролетов, принятая в промышленном строительстве.

Глава 23

УМЯГЧЕНИЕ, ОБЕССОЛИВАНИЕ И ОПРЕСНЕНИЕ ВОДЫ

Умягчение воды — процесс понижения ее жесткости, обусловленной наличием солей кальция и магния.

Существует несколько методов снижения жесткости воды, выбор которых производится исходя из требований к качеству умягчаемой воды (глубины умягчения) и технико-экономических обоснований.

В практике водоподготовки наибольшее распространение получили следующие методы умягчения воды:

а) реагентный, сущность которого заключается в связывании ионов кальция и магния химическими веществами в малорастворимые и легко удаляемые соединения — карбонат кальция и гидроокись магния (часто реагентный метод умягчения воды называют методом осаждения); в зависимости от применяемого реагента различают известковый, содовый, едконатриевый и фосфатный способы реагентного умягчения воды;

б) катионитный, основанный на способности ионообменных мате-

риалов (в данном случае катионитов) обменивать присутствующие в воде катионы кальция и магния на обменные катионы натрия или водорода (не придающие воде свойства жесткости), которыми предварительно заряжается катионит; обмен ионов натрия называется Na-катионированием, а ионов водорода — H-катионированием;

в) термохимический, при котором реагентное умягчение осуществляют обычно с применением извести и соды или реже едкого натра и соды при температуре воды более 100° С (до 165° С). Термохимический метод умягчения применяется в основном при подготовке воды для питания котлов. Только в этом случае утилизируется почти все тепло, затраченное на подогрев воды.

Глубина умягчения известкованием определяется растворимостью карбоната кальция и гидроокиси магния; при совместном присутствии в воде кальция и магния теоретически глубина умягчения при температуре 0° С составляет 0,55 мг-экв/л, а при температуре 80° С — 0,23 мг-экв/л. Практически вода, умягченная известковым или известково-содовым способом, имеет остаточную жесткость не менее 0,5—1 мг-экв/л из-за способности карбоната кальция и гидрата окиси магния образовывать пересыщенные растворы.

§ 122. ОСНОВЫ РЕАГЕНТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

Способы реагентного умягчения воды перечислены в табл. V.11.

Таблица V11

Способ реагентного умягчения	Применяемый реагент
Известковый	CaO или $Ca(OH)_2$
Едконатриевый	$NaOH$
Известково-содовый	$CaO+Na_2CO_3$
Содо-едконатриевый	Na_2CO_3+NaOH
Известково-едконатриевый	$CaO+NaOH$
Фосфатный [1]	Na_3PO_4
Бариевый [2]	$BaCO_3$ или $Ba(OH)_2$

[1] Применяется обычно после известково содового умягчения
[2] Применение ограничивается дефицитностью и высокой стоимостью бариевых солей

Известковый способ (декарбонизацию воды) применяют, когда необходимо снизить щелочность исходной воды. При этом происходит эквивалентное снижение жесткости. При введении в воду гидрата окиси кальция сначала происходит связывание растворенной в воде углекислоты с образованием бикарбонатных ионов. Затем бикарбонатные ионы переходят в карбонатные, которые, реагируя с присутствующими в растворе катионами кальция, выпадают в осадок (при превышении произведения растворимости $ПР_{CaCO_3}$). Параллельно магний осаждается в виде гидроокиси магния. Процессы могут быть описаны следующими уравнениями:

$$2CO_2 + Ca(OH)_2 = Ca(HCO_3)_2;$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O;$$

$$HCO_3^- + Ca(OH)_2 = OH^- + CaCO_3\downarrow + H_2O.$$

Обычно одновременно с известкованием воды проводят и ее коагулирование. В качестве коагулянта, как правило, используют закисное сернокислое железо — железный купорос $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

Хлорное железо $FeCl_3$ применяют в качестве коагулянта реже из-за трудностей обращения с ним. Сернокислый алюминий при известковании воды с большим значением pH образует хорошо растворимые в воде соединения — алюминаты.

Расход извести для проведения процесса декарбонизации воды определяется приведенными выше уравнениями; кроме того, необходим дополнительный расход извести на реакцию с коагулянтом и некоторый ее избыток (0,5 мг-экв/л) для ускорения процесса декарбонизации.

Из способов реагентного умягчения воды наибольшее распространение получил известково-содовый благодаря более широким границам его применимости.

Дозирование в воду извести вызывает осаждение магния в виде $Mg(OH)_2$, но жесткость воды при этом не уменьшается, так как происходит лишь замена магниевой жесткости кальциевой в соответствии с реакциями:

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 = \underset{\downarrow}{Mg(OH)_2} + CaSO_4;$$

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 = \underset{\downarrow}{Mg(OH)_2} + CaCl_2.$$

Жесткость некарбонатная, обусловленная в основном наличием соединений кальция, устраняется реагентом, содержащим анионы CO_3^{2-}, обычно кальцинированной содой Na_2CO_3:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = \underset{\downarrow}{CaCO_3} + Na_2SO_4;$$

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 = \underset{\downarrow}{CaCO_3} + 2NaCl.$$

Доза извести (в пересчете на CaO) при известково-содовом способе умягчения воды может быть определена по формуле (в мг/л)

$$Д_и = 28\left(\frac{CO_2}{22} + Ж_к + Ж_м + Д_к + И_и\right),$$

где 28 — эквивалентная масса CaO;

CO_2 — содержание в воде свободной углекислоты в мг/л;

$Ж_к$ — жесткость карбонатная в мг-экв/л;

$Ж_м$ — жесткость магниевая в мг-экв/л;

$Д_к$ — доза коагулянта в мг-экв/л;

$И_и$ — избыток извести, принимаемый равным 0,5 мг-экв/л.

Доза соды (в пересчете на 100% Na_2CO_3) составляет (в мг/л)

$$Д_с = 53(Ж_{н\,к} + Д_к + И_с),$$

где 53 — эквивалентная масса соды;

$Ж_{н.к}$ — жесткость некарбонатная в мг-экв/л;

$И_с$ — избыток соды против теоретического количества, принимаемый равным 1 мг-экв/л.

В результате обработки воды известью или известью с содой происходит некоторое снижение солесодержания исходной воды.

Фосфатирование обычно применяется с целью более глубокого умягчения воды (до 0,04—0,05 мг-экв/л), предварительно обработанной другими способами, при температуре воды выше 100° С.

При введении в обрабатываемую воду тринатрийфосфата или динатрийфосфата протекают реакции образования труднорастворимых фосфорнокислых солей кальция $Ca_3(PO_4)_2$ и магния $Mg_3(PO_4)_2$.

§ 123. УСТАНОВКИ ДЛЯ РЕАГЕНТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

Реагентные водоумягчительные установки обычно состоят из следующих основных элементов: 1) устройств для приготовления растворов, водораспределителей, дозаторов, реагентов; 2) смесителей; 3) камер

хлопьеобразования; 4) аппаратов, в которых завершается умягчение воды и происходит частичное ее осветление (вихревые реакторы, термоумягчители, напорные и безнапорные осветлители); 5) осветлительных фильтров.

Точное дозирование реагентов при обработке воды с целью ее умягчения имеет важное значение для успешного осуществления технологического процесса. Обычно критерием правильности подбора доз реагентов и завершения процесса умягчения служит показатель стабильности воды.

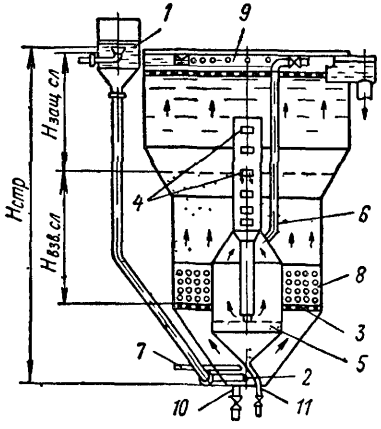


Рис. V.65

1 — воздухоотделитель; *2* — ввод воды в осветлитель (тангенциально расположенное сопло); *3* — нижняя распределительная решетка; *4* — окна для удаления избытка шлама; *5* — шламоуплотнитель; *6* — принудительный отсос; *7* — ввод реагентов, *8* — стабилизатор взвешенного слоя; *9* — сбросной желоб; *10* и *11* — выпуски осадка

Известь обычно дозируют в виде известкового раствора или молока. Для приготовления осветленного насыщенного раствора извести на установках малой производительности (до 100 м³/ч) применяют сатураторы. Сатуратор — это непрерывно действующий аппарат (до перезарядки, которая производится обычно раз в сутки), выполняющий также роль дозатора известкового раствора. Применение осветленного насыщенного раствора извести позволяет осуществлять простую и точную его дозировку.

Однако на крупных установках по экономическим соображениям от применения сатураторов отказываются и приготовляют не насыщенный раствор извести, а известковое молоко с концентрацией 5%. Для приготовления молока используют баки со специальными устройствами, предотвращающими расслоение известковой взвеси и раствора. Такими устройствами являются лопастные или гидравлические мешалки и система дырчатых труб для подачи сжатого воздуха. Для подачи известкового молока к смесителям необходимо выбирать кратчайшее расстояние.

Важным элементом дозировочных устройств на водоумягчительных установках является водораспределитель, на котором обрабатываемая вода делится водосливами с постоянной или регулируемой шириной порога на несколько потоков (в подогреватель, в сатуратор, в дозатор). Соотношение между расходами (потоками) сохраняется при изменении величины общего расхода воды. Отделенные таким образом в распределителе потоки используются для автоматического дозирования (управления дозаторами, например сатуратором). Водораспределители выбирают по каталогу водоподготовительного оборудования на заданную пропускную способность.

Осветлитель является основным аппаратом водоумягчительной реагентной установки. Расчет осветлителя производится так же, как и расчет осветлителя, применяемого для обычного осветления воды. В практике реагентного умягчения воды широкое распространение получили осветлители ЦНИИ МПС, разработанные проф. Е. Ф. Кургаевым.

На рис. V.65 показано устройство осветлителя ЦНИИ I-А производительностью 100 м³/ч. Вода в осветлитель вводится через тангенциально расположенное сопло *2*, чем обеспечивается вращательное движение ее в нижнем конусе, необходимое для перемешивания реагентов, вводимых по трубе *7*. Вращательное движение гасится нижней дренажной решеткой *3*

и вертикальными перегородками, расположенными внизу центральной части осветлителя. Для улучшения гидравлических условий сбора осветленной воды имеется верхняя дренажная решетка. Отбор избытка осадка из взвешенного слоя производится через окна *4*, расположенные на вертикальной трубе; подвижные кожухи на окнах позволяют изменять как высоту, так и площадь отбора. На установках большей производительности применяются осветлители ЦНИИ-3 (см. рис. V.28).

Взвешенный хлопьевидный осадок в основном состоит из соединений Ca и Mg, естественной взвеси и продуктов коагуляции.

Осветлители со взвешенным осадком практически могут быть использованы для известкования, а также для известково-содовой обработки воды любого качества. Однако они хорошо работают только при поступлении в них воды с постоянной температурой. Резкое изменение температуры (на 1—2°) вызывает появление конвективных токов, взмучивание слоя взвешенного осадка и вынос его из осветлителя на фильтры.

Для окончательного осветления умягченной воды применяют обычные скорые фильтры. Расчет и описание конструкций этих фильтров приведены в главе 20.

124. ОСНОВЫ КАТИОНИТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

Умягчение воды по методу ионного обмена основано на свойстве катионитов обменивать катионы, которыми предварительно «заряжены» его активные группы, на содержащиеся в умягчаемой воде катионы кальция и магния. В результате реакции катионит отдает в воду взамен поглощенных обменные катионы. В зависимости от того, каким обменным ионом «заряжен» катионит: натрием, водородом или аммонием — различают процессы Na-, H- и NH_4-катионирования.

Процесс обмена ионов между катионитами и раствором, содержащим соли жесткости, зависит от многих факторов. Главными из них являются свойства катионитов, состав исходной воды и условия происходящего процесса. Все эти факторы тесно связаны между собой и прежде всего определяют скорость прохождения ионообменных реакций. Реакция обмена между катионитом и ионами исходной воды, являющейся раствором солей, обусловливается диффузией ионов из раствора внутрь катионита и из катионита в исходную воду. Процесс управляется законами диффузии и действия масс.

При умягчении воды, содержащей ионы кальция и магния, Na-катионированием кальций и магний будут диффундировать в катионит; в свою очередь натрий из катионита диффундирует в воду. В результате обменной реакции кальций и магний займут место вытесненного натрия в катионите, а натрий займет место магния и кальция в умягченной воде. Обмен ионов между катионитом и растворами (водой) происходит эквивалентно: из катионита ионы Na^+ вытесняются в количестве, эквивалентном количеству ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}, поглощаемых из раствора. Обмен ионов является не только эквивалентным, но и обратимым процессом. Обратимость обмена ионов заключается в том, что скорость обмена иона, вытесненного из катионита, и иона, поглощенного из раствора, при условии равновесия практически равна. Эквивалентность и обратимость обмена ионов нарушаются в том случае, если наряду с обменом ионов в воде протекают другие реакции, например окислительно-восстановительные, физическая сорбция молекул и др.

При ведении процесса Na-катионирования (как и других процессов) для практических целей главной задачей является максимальное использование ионообменной способности (емкости) катионита, ибо от нее и

степени ионизации активных групп катионита зависит эффективность применения ионообменного процесса. Большое влияние на обменную способность катионита оказывает природа поглощаемых катионов. Любой катион может поглощаться катионитом полностью, однако величина рабочей емкости поглощения при этом будет зависеть от того, какой именно катион поглощается. Интенсивность поглощения подчиняется определенной закономерности:

$$Na^+ < NH_4^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+}.$$

Здесь каждый последующий катион поглощается катионитом более интенсивно, чем предыдущий.

В качестве катионитов в настоящее время применяются только искусственно получаемые материалы. Из числа практически используемых катионитов в первую очередь следует указать сульфоуголь—полифункциональный катионит, получающийся сульфированием (обработка концентрированной серной кислотой при высокой температуре) природных коксующихся плавких каменных углей. По внешнему виду сульфоуголь — черный зернистый материал, состоящий из гранул неправильной формы размером от 0,25 до 1,2 мм. Обменная способность сульфоугля составляет от 200 до 300 мг-экв/л в зависимости от условий применения. Сульфоуголь применяется для Na-, H- и NH_4-катионирования. Благодаря доступности и дешевизне сульфоуголь получил широкое распространение в теплоэнергетике для водоподготовки.

Кроме сульфоугля в настоящее время широко применяют синтетические ионообменные смолы — иониты, представляющие собой высокомолекулярные соединения, которые состоят из молекул-гигантов с огромной молекулярной массой. Ионит — твердое, практически нерастворимое в воде вещество, механически прочное и химически устойчивое.

Ионообменная способность синтетических ионитов, так же как и естественных, обусловливается активными группами, закрепленными на каркасе высокомолекулярных соединений, расположенных в объеме частицы (зерна). Таким образом, всякий ионит — это нерастворимый отрицательный или положительный поливалентный ион, окруженный подвижными ионами противоположного знака. Из синтетических катионитов наиболее широкое распространение в водоочистке получили КБ-4-П2, КУ-1Г, КУ-2-8. Они обладают в несколько раз большей обменной способностью, чем сульфоуголь. Например, обменная способность КУ-2-8 при Na-катионировании составляет 800—900 мг-экв/л.

Ионообменные процессы, осуществляемые на катионитах, основаны на типовых реакциях катионного обмена:

$$K\ I\ Na + MeOH \rightleftarrows K\ I\ Me + NaOH;$$

$$K\ I\ H + MeOH \rightleftarrows K\ I\ Me + H_2O;$$

$$K\ I\ M_1 + M_2An \rightleftarrows K\ I\ M_2 + M_1An,$$

где K — сложный радикал катионита (органический скелет), практически нерастворимый в воде и играющий роль неподвижного аниона;

I — знак, указывающий на способность катионита диссоциировать на нерастворимый анион и катионы Na^+, H^+ или NH_4^+;

Na, H и M_1 — подвижные обменные катионы катионита;

Me и M_2 — катионы, подлежащие извлечению из воды в обмен на Na, H и M_1;

An — анионы солей в воде.

Подобные процессы обмена осуществляются на практике в динамических условиях фильтрованием умягчаемой воды через слой набухшего катионита, загруженного в специальных фильтрах.

Процессы умягчения могут быть представлены следующими схематическими реакциями в молекулярной форме:

Na-катионирование:

$$2K\ I\ Na + Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows K_2\ I\ Ca + 2NaHCO_3;$$
$$2K\ I\ Na + Mg(HCO_3)_2 \rightleftarrows K_2\ I\ Mg + 2NaHCO_3;$$
$$2K\ I\ Na + CaCl_2 \rightleftarrows K_2\ I\ Ca + 2NaCl;$$
$$2K\ I\ Na + MgCl_2 \rightleftarrows K_2\ I\ Mg + 2NaCl;$$
$$2K\ I\ Na + CaSO_4 \rightleftarrows K_2\ I\ Ca + Na_2SO_4;$$
$$2K\ I\ Na + MgSO_4 \rightleftarrows K_2\ I\ Mg + Na_2SO_4;$$

H — катионирование:

$$2K\ I\ H + Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows K_2\ I\ Ca + 2CO_2 + 2H_2O;$$
$$2K\ I\ H + CaCl_2 \rightleftarrows K_2\ I\ Ca + 2HCl;$$
$$2K\ I\ H + CaSO_4 \rightleftarrows K_2\ I\ Ca + H_2SO_4;$$
$$K\ I\ H + NaCl \rightleftarrows K\ I\ Na + HCl;$$
$$2K\ I\ H + Na_2SO_4 \rightleftarrows 2K\ I\ Na + H_2SO_4.$$

Такой же характер будут иметь реакции H-катионирования в отношении магниевых солей.

В процессе умягчения воды Na-катионированием содержание кальция и магния в воде может быть снижено до весьма малых величин: при одноступенчатом — до 0,03 —0,05 мг-экв/л и при двухступенчатом — до 0,01 мг-экв/л.

Особенность Na-катионирования заключается в том, что карбонатная жесткость умягчаемой воды, обусловленная бикарбонатами кальция и магния, переходит в бикарбонатную щелочность $NaHCO_3$, т. е. концентрация бикарбонатных ионов не изменяется. Солесодержание фильтрата несколько возрастает в результате замещения в растворе одного иона кальция на два иона натрия с большой атомной массой.

По мере фильтрования жесткой воды через слой катионита он постепенно теряет способность умягчать воду. Вся обменная способность катионита будет исчерпана тогда, когда все его активные группы израсходуют ионы натрия и будут замещены ионами кальция и магния.

Регенерация Na-катионита достигается пропусканием через него раствора с большим содержанием натрия, например 10%-ного раствора поваренной соли:

$$K_2\ I\ \frac{Ca}{Mg} + 2NaCl \rightleftarrows 2K\ I\ Na + \frac{Ca}{Mg}\ Cl_2.$$

Получающиеся в процессе фильтрования через катионит раствора NaCl хлористые соли кальция и магния сбрасываются в дренаж с последующей отмывкой катионита от продуктов регенерации.

В процессе H-катионирования наряду с умягчением исходной воды устраняется ее природная щелочность вследствие вторичных процессов:

$$H^+ + HCO_3^- \rightleftarrows H_2CO_3 \rightarrow H_2O + \overset{\uparrow}{CO_2}.$$

Однако, как видно из приведенных выше реакций, получаемая в этом процессе вода имеет низкое значение pH, так как все некарбонатные соли различных присутствующих в воде катионов превращаются при

Н-катионировании в соответствующие кислоты (в основном HCl и H_2SO_4). Кислотность воды в этом процессе зависит от глубины ее Н-катионирования, т. е. от полноты обмена катионов металлов на катион водорода.

Регенерация Н-катионита достигается пропусканием через него раствора серной или соляной кислоты:

$$K_2 \left[\frac{Ca}{Mg}\right] + H_2SO_4 \rightleftarrows 2K\left[H\right] + \frac{Ca}{Mg}SO_4.$$

Задержанные катионитом ионы кальция и магния при регенерации его кислотой замещаются водородными ионами кислоты.

При регенерации Н-катионита возникают вторичные процессы взаимодействия между продуктами реакции, в частности кальцием, вытесненным из катионита, и сульфатными анионами, которые могут дать в слое катионита осадок гипса, что приведет к потере эффекта регенерации. Чтобы этого не произошло, применяют, например, прогрессивно-последовательную регенерацию катионита 1-, 1,5- и 5%-ным раствором серной кислоты.

Наибольшее практическое применение нашло сочетание процессов Na- и Н-катионирования. В этом случае может быть достигнута требуемая потребителем величина щелочности или кислотности благодаря взаимной нейтрализации кислой и щелочной воды. Процесс Н—Na-катионирования может осуществляться по одной из описанных далее схем.

1. Параллельное Н—Na-катионирование применяют для исходной воды с малой некарбонатной жесткостью. При этом часть воды пропускается через Н-катионитный фильтр, а другая часть — через Na-катионитный фильтр. Затем оба фильтрата смешиваются. В результате можно получить воду с весьма малой жесткостью и близкой к нулевой щелочностью. Выделяющаяся при взаимодействии Na-катионированной воды с Н-катионированной водой углекислота удаляется на специальных дегазаторах.

2. Последовательное Н—Na-катионирование обычно применяют для умягчения воды с относительно высокой жесткостью. При этом часть обрабатываемой воды пропускается через Н-катионитный фильтр, затем смешивается с остальной частью воды, пропускается через удалитель углекислоты (дегазатор) и, наконец, вся смесь пропускается через Na-катионитный фильтр.

3. Совместное Н—Na-катионирование осуществляется в одном фильтре. При этом верхний слой катионита в фильтре отрегенерирован для работы по методу Н-катионирования, а нижний — для работы по методу Na-катионирования.

Для доумягчения фильтрата после Н—Na-катионирования применя-

Таблица V 12

Катиониты	Размер зерен в мм	Объемная масса в набухшем состоянии в т/м³	Полная обменная способность $E_{полн}$ в г-экв/м³	Примечание
Сульфоуголь сорт 1, крупный	0,4—1,8	0,42	570	Сильнокислотный
КУ-1Г	0,3—2	0,47	650	»
КУ-2-8	0,3—1,2	0,65	1700	»
КБ-4-П2	0,3—1	0,40	2800	Слабокислотный

ют дополнительный Na-катионитный фильтр (так называемый Na-катионитный фильтр второй ступени).

Осуществление метода Н-катионирования на практике связано с некоторыми сложностями и с соблюдением особых требований техники безопасности, которые неизбежны при обращении с кислотами и их растворами, — необходимы кислотостойкая изоляция аппаратов, трубопроводов и арматуры или изготовление их из специальных кислотостойких материалов (нержавеющая сталь, биметалл, пластмассы).

Катионитовые методы позволяют достигнуть весьма глубокого умягчения воды — до 0,01 мг-экв/л и снижения щелочности до 0,35 мг-экв/л.

Технологические характеристики некоторых марок катионитов приведены в табл. V. 12.

§ 125. УСТАНОВКИ ДЛЯ КАТИОНИТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

Схемы Na-катионирования. В технологических схемах установок предусматривается Na-катионирование воды с предварительной обработкой либо без нее в зависимости от качества исходной воды. Предвари-

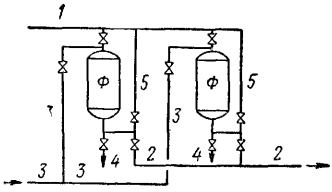


Рис. V.66

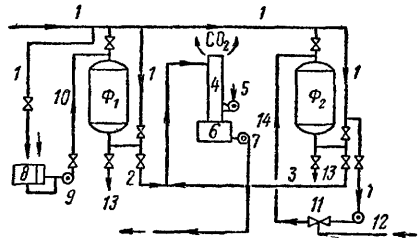


Рис. V.67

тельная обработка воды включает в себя коагулирование, известкование с осветлением в осветлителях и последующее фильтрование на кварцевых скорых фильтрах.

На рис. V. 66 представлена наиболее простая технологическая схема установки для умягчения воды методом Na-катионирования без предварительной обработки воды. В напорные фильтры *Ф* загружен набухший катионообменный материал, например сульфоуголь. Подлежащая обработке вода подается по трубе *1* на фильтры и проходит сверху вниз через слой сульфоугля со скоростью 10—25 м/ч в зависимости от исходной жесткости (15—5 мг-экв/л). Умягченная вода отводится по трубам *2* к потребителю.

На время регенерации катионита фильтры поочередно выключают из работы. Регенерационный раствор поваренной соли концентрацией 1,5—8% подается из солерастворителя на фильтр по трубе *3* и сбрасывается в дренаж по трубе *4*. Скорость пропускания регенерационного раствора составляет 3—5 м/ч.

Процесс регенерации включает в себя следующие операции: 1) взрыхление катионита исходной водой, подаваемой по трубе *5* в фильтр снизу вверх с интенсивностью 3—4 л/(с·м^2); 2) регенерация катионита; 3) отмывка катионита исходной водой (по трубам *1*, *4*) от продуктов регенерации и неизрасходованного регенерационного раствора со скоростью 10 м/ч.

Отмывка Na-катионитного фильтра заканчивается при снижении жесткости фильтрата до 0,1 мг-экв/л, после чего фильтр включается в рабочий цикл.

При производительности умягчительных установок более 10 м³/ч принимается «мокрое» хранение соли. Соль сгружают в бункер мокрого хранения, туда же подают воду через бачок с поплавковым клапаном, автоматически поддерживающим постоянный уровень. Концентрированный раствор (26%) отводится из отсека, отделенного от бункера дырчатой деревянной перегородкой, в мерник. Благодаря фильтрованию через твердую соль раствор приобретает прозрачность.

Регенерационный раствор необходимой концентрации приготовляют в эжекторе.

Схемы H—Na-катионирования. На рис. V.67 показана принципиальная схема параллельного H—Na-катионирования. Фильтр $Ф_1$ загружен катионитом в Na-форме, а фильтр $Ф_2$ — катионитом в H-форме. Исходная вода *1* подается по трубам параллельно на Na- и H-катионитные фильтры. Смешивая в определенной пропорции щелочной *2* и кислый *3* фильтраты, можно получить практически полностью умягченную воду заданной щелочности. В дегазаторе *4* вода продувается воздухом от низконапорного вентилятора *5*, освобождается от углекислоты, стекает в бак *6* и центробежным насосом *7* подается потребителю. Для регенерации истощенных Na-катионитных фильтров в баке *8* приготовляется 6—10%-ный раствор NaCl, подаваемый затем насосом *9* по трубе *10* в фильтр. Для регенерации истощенных H-катионитных фильтров в эжекторе *11* из концентрированной серной кислоты, подаваемой по трубе *12*, приготовляется 1—1,5%-ный регенерационный раствор серной кислоты. Отмывочные воды и первый фильтрат сбрасывают в дренаж по трубам *13*. Регенерационный раствор серной кислоты подается в фильтр по трубе *14*.

При совместном H—Na-катионировании один и тот же фильтр служит для H- и Na-катионирования. В этом случае регенерация истощенного фильтра осуществляется следующим образом. Вначале на истощенный катионит подается некоторое количество регенерационного раствора поваренной соли 6—10%-ной концентрации, а затем 1—1,5%-ный раствор серной кислоты с промежуточной отмывкой катионита между регенерациями. В результате верхние слои катионитовой загрузки будут обладать (преимущественно) обменными ионами водорода, а нижние — обменными ионами натрия.

§ 126. РАСЧЕТ УСТАНОВОК ДЛЯ КАТИОНИТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

При расчете катионитной установки должны быть заданы: количество умягчаемой воды, ее солевой состав, требования потребителя к качеству воды и обменная способность намеченного для использования катионита.

Определению подлежат: площадь (а следовательно, и число) фильтров, объем катионитового материала и количество воды, идущей на собственные нужды установки.

Основной величиной, определяющей нагрузку катионитной установки за один цикл, является количество удаляемых солей жесткости (катионов) в г-экв:

$$E = \frac{Q Ж_о}{n},$$

где Q — количество умягчаемой воды в м³/сутки;
$Ж_о$ — общая жесткость умягчаемой воды в г-экв/м³;
n — предполагаемое число регенераций в сутки.

Если полезная (рабочая) обменная способность катионита будет $E_{раб}$ (в г-экв/м³), то требуемый объем катионита (в м³) получим равным:

$$W_к = \frac{E}{E_{раб}} = \frac{Q Ж_о}{n E_{раб}}.$$

Суммарная площадь фильтров F будет зависеть от принятой высоты слоя катионита H:

$$F = \frac{W_к}{H} = \frac{Q Ж_о}{n E_{раб} H}.$$

Если выразить величину n через полную продолжительность фильтроцикла T, то получим

$$n = \frac{24}{T} \text{ и } F = \frac{Q Ж_о T}{24 E_{раб} H}.$$

Из этого выражения видно, что площадь фильтров будет расти с увеличением продолжительности фильтроцикла, а также жесткости исходной воды и уменьшаться с увеличением обменной способности катионита и высоты слоя катионита в фильтре.

Скорость фильтрования воды v (в м/ч) через катионитные фильтры зависит от жесткости воды и обменной способности катионита

$$v = \frac{Q}{T_0 n F} = \frac{E_{раб} H}{Ж_о T_0},$$

где T_0 — продолжительность полезной работы фильтра в течение одного цикла в ч.

Для возможности использования приведенных выше формул необходимо правильно задаваться величинами $E_{раб}$, H, $Ж_о$ (общая жесткость умягчаемой воды в мг-экв/л) и T_0.

Величина рабочей обменной способности катионита $E_{раб}$ всегда будет ниже его полной обменной способности $E_{полн}$, так как некоторая доля ее тратится на неизбежное частичное умягчение воды, подаваемой на отмывку катионита после регенерации. Кроме того, величина $E_{раб}$ зависит от полноты использования объема катионита, высоты его слоя и размера зерен, состава и концентрации растворенных в воде солей.

При Na-катионировании величина рабочей обменной способности катионита может быть определена по формуле, предложенной В. А. Клячко:

$$E^{Na}_{раб} = \alpha_{Na} \beta_{Na} E_{полн} - 0{,}5 Ж_о q_{уд},$$

где 0,5 — коэффициент, учитывающий неполноту умягчения отмывочной воды;

$q_{уд}$ — удельный расход отмывочной воды;

α_{Na} — коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита; значение коэффициента α_{Na} может быть определено по табл. V.13 в зависимости от удельного расхода поваренной соли на регенерацию катионита P в г на 1 г-экв рабочей обменной способности;

Таблица V.13

P	100	150	200	250	300	400
α_{Na}	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9	0,91

β_{Na} — коэффициент снижения полной обменной способности.

Коэффициент β_{Na} может быть определен в зависимости от отношения $C^2_{Na}/Ж_о$ [здесь C_{Na} — концентрация натрия в умягчаемой воде

Таблица V.14

$C^2_{Na}/Ж_o$	0,01	0,03	0,05	0,1	0,5	1	2	3	5	10
β_{Na}	0,93	0,9	0,88	0,83	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,5

в г-экв/м³, равная $C_{Na}=[Na^+]/23$, где $[Na^+]$ — концентрация натрия в исходной воде в г/м³; $Ж_o$ — общая жесткость умягчаемой воды]. Значения β_{Na} в зависимости от этого отношения даны в табл. V.14.

Величина полной обменной способности $E_{полн}$ является характерной для каждого типа катионита (см. табл. V.12).

Высота слоя катионита H должна быть достаточной для предотвращения проскока солей жесткости в фильтрат до окончания заданного рабочего цикла умягчения.

В настоящее время высота H в стандартных (параллельно-поточных) фильтрах первой ступени изменяется от 2 до 2,5 м, а в фильтрах второй ступени составляет 1,5 м. Натрий-катионитный фильтр первой ступени диаметром D от 2 до 3,4 м показан на рис. V.68.

Скорость фильтрования на катионитных фильтрах рекомендуется принимать не выше следующих величин:

Жесткость умягчаемой воды в мг-экв/л.	Скорость фильтрования в м/ч
до 5	25
» 10	15
» 15	10

При расчете Н—Na-катионитных установок в первую очередь необходимо установить, какое количество воды должно поступать на Na-катионитные фильтры (Q_{Na}) и какое — на Н-катионитные фильтры (Q_H). Эти величины при параллельном Н—Na-катионировании могут быть определены по формулам

$$Q_H=\frac{Ж_к-a}{Ж_к+A}Q;\quad Q_{Na}=Q-Q_H,$$

где $Ж_к$ — карбонатная жесткость умягчаемой воды в мг-экв/л;

a — условная «остаточная» щелочность фильтрата в мг-экв/л, принимаемая в пределах 0,2—0,3 мг-экв/л;

A — суммарное содержание в воде анионов сильных кислот в мг-экв/л.

Объем Na-катионита и площадь Na-катионитных фильтров могут быть определены указанным выше методом.

Для определения объема Н-катионита и площади Н-катионитных фильтров необходимо найти значение рабочей обменной способности Н-катионита $E^H_{раб}$ в данных условиях.

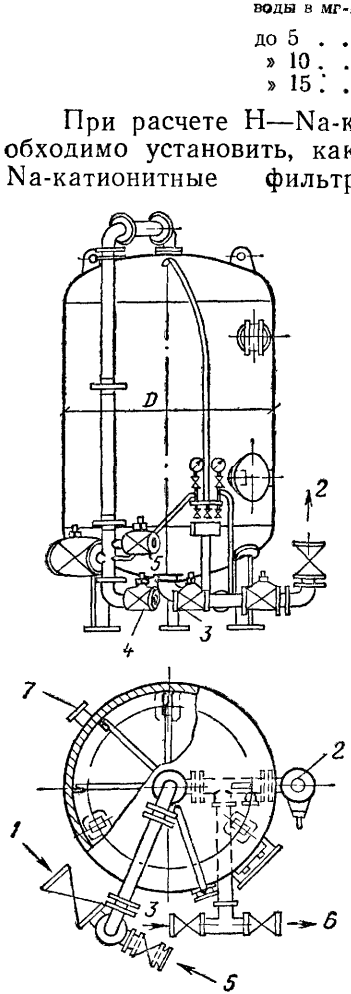


Рис V 68

1 — подвод обрабатываемой воды; *2* — выпуск обработанной воды, *3* — подвод промывочной воды; *4* — спуск промывочной воды, *5* — подвод регенерационного раствора, *6* — спуск отмывочной воды и первого фильтрата; *7* — штуцер гидровыгрузки фильтрующего материала

Таблица V.15

Удельный расход серной кислоты в г/г-экв	40	50	60	70	80	90	100	125	150	200
$\alpha_{\text{Н}}$	0,62	0,68	0,74	0,78	0,81	0,83	0,85	0,89	0,91	0,92

Рабочая обменная способность Н-катионита

$$E^{\text{Н}}_{\text{раб}}=\alpha_{\text{Н}}\,E_{\text{полн}}-0{,}5C_{\text{к}}\,q_{\text{уд}},$$

где $\alpha_{\text{Н}}$ — коэффициент эффективности регенерации Н-катионита, зависящий от удельного расхода кислоты; значение коэффициента $\alpha_{\text{Н}}$ может быть взято из табл. V.15;

$C_{\text{к}}$ — суммарное содержание в воде катионов кальция, магния, натрия и калия в г-экв/м^3.

Величины $E_{\text{полн}}$ находятся по данным, приведенным ранее (см. табл. V.12).

Объем Н-катионита

$$W_{\text{Н}}=\frac{Q_{\text{Н}}\left(Ж_{\text{о}}+C_{\text{Na}}\right)}{nE^{\text{Н}}_{\text{раб}}}.$$

§ 127. ОСНОВЫ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Обессоливание — устранение из воды по возможности всех растворенных в ней солей, обычно до солесодержания в несколько миллиграммов или долей миллиграмма на 1 л в зависимости от требований потребителей. В настоящее время наиболее распространенным способом определения степени чистоты воды является ее оценка по удельной электрической проводимости $\varkappa$ или по обратной величине — удельному сопротивлению $\rho=1/\varkappa$. В растворах малой концентрации электрическая проводимость измеряется с помощью слабого переменного тока, а сопротивление образца — с помощью мостов Уитстона, Кольрауша и др. Так как ρ выражается в Ом·см, то единицей измерения $\varkappa$ служит Ом$^{-1}$·см$^{-1}$.

Обессоливание воды может быть достигнуто одним из следующих методов: 1) дистилляцией в испарителях (термический метод); 2) ионным обменом (ионитовый метод). Весьма перспективен метод электро-

Таблица V.16

(по В. А. Клячко, И. Э. Апельцину)

Характеристика воды	Остаточное солесодержание в мг/л	Удельное сопротивление в Ом·см
Теоретически чистая	0,0	$26\cdot10^6$
28 раз перегнанная в кварцевой посуде .	0,0001	$23\cdot10^6$
Обессоленная ионитовым методом на установках:		
одноступенчатой	2—10	$(0{,}5—0{,}8)10^6$
двухступенчатой	1—3	$(1—5)10^6$
трехступенчатой	0,05—0,1	$(6—10)10^6$
Дистиллированная в испарителях . . .	1—3	$(0{,}1—0{,}5)10^6$
Обессоленная электродиализом (с заполнением камер смесью ионитов) . . .	0,01—0,05	$(12—15)10^6$
Из московского водопровода	200—400	$(0{,}2—6)10^3$

диализа (электрохимический метод) в многокамерных электродиализаторах с ячейками, заполненными специальными смесями ионитов. Однако этот метод находится еще в стадии исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Данные о глубине обессоливания воды этими методами (при исходной воде с содержанием растворенных солей менее 1000 мг/л) и ее удельном сопротивлении приведены в табл. V.16.

Удельное сопротивление воды обратно пропорционально концентрации катионов и анионов, их валентности и подвижности. Для глубоко чистой воды оно определяется количеством ионов H^+ и OH^-. По значению электрического сопротивления судят о величине сухого остатка в воде после ее обессоливания. Однако удельное сопротивление (или электрическая проводимость) не отражает наличия в сухом остатке органических соединений и нейтральных молекул солей металлов, которые имеются в растворах в слабой концентрации.

§ 128. ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ ДИСТИЛЛЯЦИЕЙ

Для обессоливания воды дистилляцией (наиболее старый метод обессоливания) применяют испарители разных типов. Они различаются производительностью, конструкцией и видом потребляемой энергии. Обычно применяют электрические или паровые дистилляторы.

Испарители представляют собой котлы низкого давления, в которых поступающая вода превращается в бедный солями пар и концентрат со значительным солесодержанием, который непрерывно (или периодически) сбрасывается.

Для получения воды большей степени чистоты необходимо обеспечить медленное кипячение, чтобы тяжелые примеси не уносились паром и не попадали в дистиллят. С целью уменьшения расхода энергии дистилляционные установки выполняются многоступенчатыми. Однако с увеличением числа ступеней испарения увеличивается суммарная площадь поверхности нагрева аппаратов и соответственно возрастают капитальные затраты. Оптимальное число ступеней испарения и другие показатели установки обычно выбирают путем сравнения расчетных вариантов.

Одноступенчатые испарительные установки (дистилляторы) применяют при небольшом расходе обрабатываемой воды (не более 2—3 $м^3/ч$).

В многоступенчатых установках вторичный пар каждой ступени, за исключением последней, используется в качестве греющего пара последующей ступени. Вторичный пар последней ступени конденсируется в хвостовом конденсаторе. С увеличением числа ступеней испарительной установки количество дистиллята, получаемого на единицу затраченной тепловой энергии, возрастает. На тепловых электростанциях обычно ограничивают число ступеней двумя — пятью.

Питательной водой испарителей, предназначенных для получения глубоко обессоленной воды, обычно служит пресная вода, отвечающая ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая». Для предотвращения образования накипи $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ на теплообменных поверхностях воду обрабатывают на H—Na-катионитных фильтрах или подкисляют эквивалентным природной щелочности количеством кислоты с целью разрушения бикарбонатов (более подробно о предотвращении образования накипи см. в § 130).

Конструкции испарителей и расчет термических обессоливающих установок приведены в специальной литературе.

На предприятиях электровакуумной промышленности, при производстве полупроводников, цветных телевизионных трубок и в других по-

добных случаях применяют обессоленную воду особой степени чистоты (ОСЧ) с содержанием растворенных солей не более 0,02 мг/л [удельное сопротивление около (10—15) 10^{-6}Ом·см]. Эта вода должна быть практически свободна от минеральных, органичееких и биологических примесей.

Следует отметить, что для получения обессоленной воды «ОСЧ» испарители, теплообменники, трубопроводы, арматура и установки должны изготовляться из прозрачного кварца или платины. Другие материалы и металлы для них не пригодны.

§ 129. ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ ИОННЫМ ОБМЕНОМ

Более чистую воду (по сравнению с полученной при однократной дистилляции в промышленном масштабе) дает обработка ее на ионообменных смолах — катионитах и анионитах, предварительно переведенных в H^+ и OH^--форму. Обычно применяют сильнокислотные катиониты типа КУ-2-8.

Обмен катионов на катионите происходит по типовой реакции

$$K\,I\,H + MeAn \rightleftarrows K\,I\,Me + HAn,$$

где К— сложный радикал катионита;

I — знак электролитической диссоциации;

Ме — катионы солей, подлежащие извлечению из воды;

Ан — анионы солей в растворе.

Обмен анионов на анионите осуществляется по типовой реакции

$$A\,I\,OH + HAn \rightleftarrows A\,I\,An + H_2O,$$

где А — сложный радикал анионита.

Современные аниониты, как и катиониты (см. § 124), являются синтетическими высокомолекулярными соединениями.

Катиониты по своим свойствам разделяются на слабо- и сильнокислотные, а аниониты — на слабо- и сильноосно́вные. В ионитовых обессоливающих установках применяют как слабоосно́вные аниониты марок АН-2ФГ, АН-18-6, АН-31, так и сильноосно́вные марок ЭДЭ-10П (среднеосно́вный), АВ-17-8, АМ.

Слабоосно́вные аниониты могут поглощать только ионы сильных кислот, например SO_4^{2-} и Cl^-.

Сильноосно́вные аниониты отличаются от слабоосно́вных тем, что кроме ионов сильных кислот они могут поглощать также и ионы слабых кислот, например угольной и кремниевой, заменяя их на ионы OH^-.

Слабоосно́вные аниониты применяют для того, чтобы разгрузить сильноосно́вные анионитные фильтры.

Распределение ионов в слое (фильтре) сильноосно́вного анионита происходит в следующем порядке (сверху вниз): SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-} и SiO_3^{2-}.

Преимуществом слабоосно́вных анионитов по сравнению с сильноосно́вными анионитами является меньшая их стоимость при высокой рабочей способности поглощения, а также меньший расход реагента на регенерацию. Технологические характеристики катионитов приведены в табл. V.12, а анионитов — в табл. V.17.

Для обессоливания воды в качестве обменных ионов, находящихся в аниоците, могут быть использованы OH^-, HCO_3^- и CO_3^{2-}, которые в результате вторичной реакции с катионом водорода образуют воду или свободную углекислоту, легко удаляемую продуванием воды воздухом или нагревом ее до кипения:

$$A\,I\,HCO_3^- + HAn \rightarrow A\,I\,An + \underline{H_2CO_3} \quad ;$$

$$\downarrow$$

$$H_2O + \overline{CO_2}\uparrow$$

Воспроизводство в аниоките обменных ионов достигается путем регенерации его 2—4%-ным раствором соответствующего реагента ($NaOH$, $NaHCO_3$, Na_2CO_3 и др.) с последующей отмывкой анионита от продуктов регенерации и неизрасходованного регенерационного раствора.

Таблица V.17

Аниониты	Размер зерен в мм	Объемная масса в набухшем состоянии в т/м³	Полная обменная способность при ОН-анионировании по SO_4^{2-} — SO_4^{2-} в г-экв/м³	Кремнеемкость в пересчете на SiO_2 до проскока 0,1 мг/л в г-экв/м³
Слабоосно́вные:				
АН-2ФГ	0,3—1,6	0,4	700	—
АН-18-6	0,3—1,6	0,49	1000	—
АН-31	0,4—2	0,35	1500	—
Среднеосно́вный ЭДЭ-10П	0,4—1,6	0,45	1100	50
Сильноосно́вные:				
АВ-17-8	0,2—0,85	0,39	800	400
АМ	0,25—1	0,4—0,8	800	400

$$A_2 \rfloor CO_3^{2-} + 2HAn \rightarrow 2A \rfloor An + \underbrace{H_2CO_3}_{\downarrow \quad \uparrow} \cdot$$
$$H_2O + CO_2$$

Процесс регенерации основан на обратимости реакций анионного обмена по аналогии с катионированием.

По данным Всесоюзного теплотехнического института им. Ф. Э. Дзержинского, обессоливание природных вод для питания прямоточных котлов (любых давлений) считается экономически целесообразным, когда суммарное содержание сульфатных, хлоридных и нитратных ионов в исходной воде не превышает 3—4 мг-экв/л (солесодержание не более 300 мг/л).

При одноступенчатой схеме обессоливания воды (Н-катионирование — удаление углекислоты — ОН-анионирование) общее содержание растворенных солей может быть снижено до 2—10 мг/л, что не всегда удовлетворяет технологическим требованиям.

При обессоливании воды в две ступени общее содержание растворенных солей в воде может быть снижено до 1—3 мг/л (в том числе содержание кремниевой кислоты до 0,15 мг/л).

При более высоких требованиях к качеству обессоленной воды (солесодержание 0,05—0,1 мг/л, в том числе кремниевой кислоты 0,02—0,05 мг/л), применяют технологические схемы с трехступенчатым ионированием.

При обессоливании большое значение имеет предварительное освобождение воды от взвешенных веществ, железа и органических примесей. Окисляемость воды, подвергаемой обессоливанию, должна быть в пределах 1—2 мг/л O_2. Если не удается снизить окисляемость до этой величины, в начале технологических схем обессоливания воды предусматривается установка фильтров с активированным углем марок БАУ, АГ-3 или АГ-5.

На рис. V.69 показана принципиальная технологическая схема трехступенчатой ионитной обессоливающей установки. В теплоэнергетике такие схемы обычно называются схемами полного химического обессоливания воды. Качество обессоленной воды, получаемой на таких

установках, удовлетворяет требованиям прямоточных котлов любых давлений. Исходная осветленная вода, подаваемая на обессоливание, проходит Н-катионитный фильтр первой ступени *1*, загруженный сульфированным углем, и поступает на слабоосно́вный анионитный фильтр первой ступени *2*. Частично обессоленная вода после первой ступени проходит сильнокислотный Н-катионит в фильтре второй ступени *3* и поступает в удалитель углекислоты (декарбонизатор) *4*, снабженный вентилятором *5* и сборным баком Н-катионированной воды *6*. Кислото-

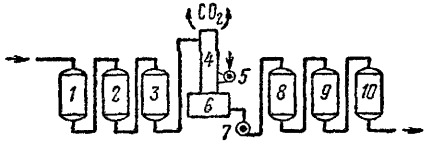


Рис. V.69

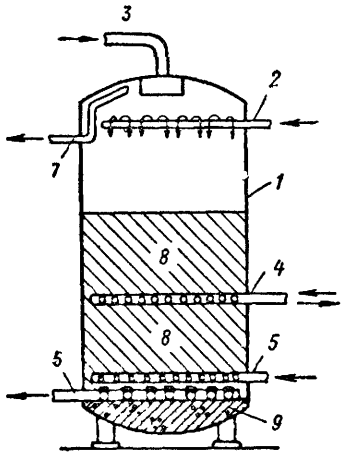


Рис. V.70

1 — корпус фильтра; *2* — распределительная система раствора щелочи; *3* — трубопровод обрабатываемой воды; *4* и *5* — распределительная система соответственно раствора кислоты и сжатого воздуха; *6* — дренажная система; *7* — воздушник, *8* — смешанная катионитово-анионитовая загрузка; *9* — бетон

стойким насосом *7* вода подается на сильноосно́вный анионитный фильтр второй ступени *8*. Этот фильтр удаляет из частично обессоленной воды растворенную кремниевую кислоту. Одновременно с этим происходит поглощение остатков углекислоты из воды после ее продувки воздухом:

$$AIOH^- + H_2SiO_3 \rightarrow AIHSiO_3^- + H_2O;$$

$$2AIOH^- + H_2CO_3 \rightarrow A_2ICO_3^{2-} + 2H_2O.$$

Для третьей ступени обессоливания воды предусмотрен сильнокислотный Н-катионитный фильтр *9*, предназначенный для обмена на катион водорода натрия, который может попасть из фильтра с сильноосно́вным анионитом, преждевременно включенного в рабочий цикл (при недостаточной отмывке анионита от регенерационного раствора NaOH). Анионитный фильтр третьей ступени *10*, загруженный сильноосно́вным анионитом, предназначен для увеличения глубины обессоливания и обескремнивания воды, улавливания продуктов растворения катионитов и задержания сульфатов при недостаточно тщательной отмывке Н-катионитного фильтра третьей ступени от неизрасходованного раствора серной кислоты при регенерации.

Регенерация Н-катионитных фильтров ведется серной кислотой с помощью насосов-дозаторов. Регенерационный раствор серной кислоты 1—1,5%-ной концентрации приготовляют для фильтров первой и второй ступеней из осветленной исходной воды, а для фильтров третьей ступени — из обессоленной воды.

Отмывка Н-катионитных фильтров всех ступеней после регенерации производится водой от предшествующих фильтров.

Сборные кислые воды отводятся в баки-нейтрализаторы. Регенерация анионитных фильтров первой ступени в основном осуществляется щелочными регенерационными водами после анионитных фильтров второй и третьей ступеней, которые регенерируются 4%-ным раствором ед-

кого натра. Концентрированный раствор щелочи подается насосами-дозаторами с разбавлением в трубопроводе до 4%-ной концентрации обессоленной водой.

Отмывка анионитных фильтров первой и второй ступеней проводится Н-катионированной водой фильтров соответствующих ступеней, а фильтров третьей ступени — отмывочными водами анионитных фильтров второй ступени (они по качеству лучше исходной воды). Третья ступень ионирования может быть заменена фильтром со смешанной загрузкой катионита и анионита, находящихся соответственно в водородной и гидроксильной формах, так называемый фильтр смешанного действия — ФСД (рис. V.70). Фильтр отличается от обычного катионитного фильтра наличием на дне распределительной системы *5* сжатого воздуха для перемешивания ионитов и дополнительной распределительной системы *4* раствора кислоты для регенерации катионита, расположенной на границе раздела катионита и анионита *8*.

Для приготовления смешанной шихты (загрузки) ФСД применяют гранульные катиониты и аниониты (катионит КУ-2-8, анионит АВ-17-8).

ФСД позволяет значительно увеличить глубину обессоливания воды. Объясняется это тем, что при фильтровании воды через слой смеси ионитов происходит как бы многоступенчатое обессоливание (большое число ступеней Н—ОН). Регенерация ионитного фильтра со смешанной загрузкой производится после разделения ионитов путем соответствующего взрыхления непосредственно в фильтре (внутренняя регенерация) или вне его (выносная регенерация).

Скорость фильтрования в ФСД при высоте слоя ионитов 2—2,5 м находится в пределах 30—50 м/ч. ФСД более сложно регенерируются по сравнению с обычными ионитными фильтрами. Это ограничивает область их применения только случаями, когда рабочий цикл очень большой и регенерация сравнительно редкая операция. В связи с этим наиболее часто их применяют в качестве третьей ступени ионирования в схемах обессоливания воды и для обессоливания конденсата.

Для получения обессоленной воды особой степени чистоты (ОСЧ) разработана (ВНИИ ВОДГЕО) технологическая схема, состоящая из десяти стадий обработки воды, очищенной до требований ГОСТ 2874—73.

Исходную воду перехлорируют дозой хлора 6—10 мг/л, обрабатывают сернокислым алюминием (доза 20—40 мг/л) и направляют в камеру хлопьеобразования (первая стадия обработки). Затем воду направляют на механический фильтр, где задерживаются хлопья коагулянта. Осветленная вода поступает на сорбционный фильтр, загруженный активированным углем марки АГ-5 или АГ-Н, освобождается от органических веществ и дехлорируется (вторая стадия обработки).

На третьей стадии обработки (первая ступень ионирования) вода фильтруется через Н-катионит и слабоосновный ОН-анионит первой ступени. На вакуумном дегазаторе удаляются растворенные газы и частично обессоленная вода подается на вторую ступень обессоливания (сильнокислотный Н-катионит и сильноосновный ОН-анионит) и затем на фильтр со смешанной загрузкой (ФСД). Обессоленная вода освобождается от продуктов разрушения ионитов и других возможных взвесей на намывном фильтре. Наибольшее препятствие получению обессоленной воды ОСЧ оказывают растворенные в природных водах гумусовые соединения, комплексно связанные со многими макро- и микроэлементами. В случае «проскока» этих веществ в обессоленную воду ухудшается ее качество. В описанной схеме для очистки воды от таких веществ принята сорбция их на активированном угле.

§ 130. ОПРЕСНЕНИЕ ВОДЫ

Многие страны испытывают недостаток в пресной воде. Наряду со странами, расположенными в безводных районах земного шара — Кувейт, Алжир, Марокко и др., к ним относятся даже такие страны, как Соединенные Штаты Америки.

Советский Союз по ресурсам поверхностных пресных вод занимает первое место в мире. Однако до 80% этих ресурсов приходится на районы Сибири, Севера и Дальнего Востока. Всего около 20% пресноводных источников расположено в центральных и южных областях с самой высокой плотностью населения и высокоразвитыми промышленностью и сельским хозяйством. Некоторые районы Средней Азии (Туркмения, Казахстан), Кавказа, Южной Украины, Донбасса, юго-восточной части РСФСР, обладая крупнейшими минерально-сырьевыми ресурсами, не имеют источников пресной воды.

Вместе с тем ряд районов нашей страны располагает большими запасами подземных вод с общей минерализацией от 1 до 35 г/л, не используемых для нужд водоснабжения из-за неприемлемо высокого содержания растворенных солей. Эти воды могут стать источниками водоснабжения при условии их опреснения.

Проектные проработки показывают, что подача пресной воды из естественного источника даже на расстояние до 300—400 км дешевле опреснения только для крупных водопотребителей.

Доставка пресной воды в безводные районы с использованием транспортных средств обходится еще дороже.

Оценка прогнозных эксплуатационных запасов солоноватых и соленых подземных вод в этих районах с учетом удаленности большинства из них от естественных пресноводных источников позволяет сделать вывод о том, что опреснение является для них единственно возможным способом водообеспечения.

Наряду с этим во многих районах, чаще всего наиболее развитых в промышленном отношении, имеющиеся естественные пресноводные источники все более и более загрязняются промышленными и бытовыми стоками и становятся непригодными для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Такими стоками, в частности, являются сточные воды шахт, как правило, имеющие повышенное содержание солей и взвесей. Помимо шахтных вод в естественные водоемы пока еще сбрасывается без должной очистки некоторое количество бытовых и промышленных сточных вод, в которых остаются ядовитые вещества.

Применяемые в технике опреснения соленых вод методы могут быть с успехом использованы для возвращения природе использованной воды, не ухудшающей состояния пресных водоемов.

К настоящему времени в мировой практике определились следующие основные методы опреснения воды: дистилляция, ионный обмен, электродиализ, вымораживание, гелиоопреснение и обратный осмос (гиперфильтрация).

Многообразие методов объясняется тем, что ни один из них не может считаться универсальным, приемлемым для любых конкретных местных условий.

Ниже приводится описание методов опреснения, получивших наибольшее распространение.

Дистилляция (термический метод) является наиболее изученным и распространенным методом опреснения соленых, особенно морских вод. Этот метод целесообразен в тех случаях, когда в наличии имеется крупный источник дешевого тепла и большой водоем исходной воды.

Сочетание дистилляционной установки с тепловой электростанцией на минеральном или ядерном топливе, так называемая многоцелевая энергетическая установка, позволяет обеспечить промышленный район всеми видами энергетических услуг по минимальной себестоимости при наиболее рациональном использовании топлива.

В связи с тем что простая смесь дистиллята и минерализованной (подземной или морской) воды не дает воды необходимого качества, в Советском Союзе разработана и внедрена специальная технология приготовления питьевой воды из смеси дистиллята и минерализованной воды.

Основная трудность опреснения дистилляцией заключается в предотвращении образования накипи на теплообменных поверхностях.

Образование соленых отложений (накипи) ведет к увеличению расхода тепла и электроэнергии, снижает производительность дистилляционной установки. Вызывается их образование следующими условиями. В морской или другой соленой воде содержится много ионов, которые способны образовывать труднорастворимые соединения при увеличении их концентрации (вследствие испарения воды) и при повышении температуры (при постоянной концентрации).

Образование труднорастворимого соединения карбоната кальция (карбонатной накипи) и гидрата окиси магния происходит следующим образом:

$$2HCO_3^- \rightleftarrows \overset{\uparrow}{CO_2} + CO_3^{2-} + H_2O;$$

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow \underset{\downarrow}{CaCO_3};$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightarrow \overset{\uparrow}{CO_2} + 2OH^-;$$

$$Mg^{2+} + 2OH^- \rightarrow \underset{\downarrow}{Mg(OH)_2}.$$

Сульфат кальция (гипс) $CaSO_4$ может кристаллизоваться при температуре выше 100° С (отрицательная растворимость) в виде трех соединений — дигидрата $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, полугидрата $CaSO_4 \cdot 0{,}5\ H_2O$ и ангидрита $CaSO_4$.

Кристаллы, образующие накипь, возникают и развиваются в условиях термодинамического перенасыщения при одновременно создавшихся условиях кинетического характера, заключающихся в наличии центров кристаллизации и выдержке раствора в контакте с зародышами в течение определенного времени.

Сущность методов предотвращения образования накипи сводится к устранению одного или нескольких условий, вызывающих ее образование.

Один из наиболее распространенных методов замедления образования накипи из карбоната кальция — введение в испаряемую воду полифосфатов натрия. За рубежом наиболее распространен метод предотвращения карбонатной накипи (и гидрата окиси магния), называемый «методом контроля pH» (стабилизация подкислением). Сущность этого метода сводится к устранению ионов CO_3^{2-} и HCO_3^- путем введения в испаряемую исходную воду стехиометрического (теоретически необходимого) количества кислоты (обычно H_2SO_4) и проведения дегазации с целью удаления CO_2. Этот метод требует весьма точного дозирования и контроля, чтобы избежать кислотности, вызывающей коррозию материалов.

Умягчение воды с помощью ионообменных смол является одним из

эффективных методов предупреждения образования накипи, однако он дороже предварительной кислотной обработки воды.

Удалить накипеобразующие компоненты из воды перед подачей ее в опреснительную установку можно путем дозирования в нее стехиометрического количества осаждающих кальций и магний веществ, т. е. применения, например, термохимического умягчения исходной воды. Это радикальное средство против образования накипи, но его использование влечет за собой значительное увеличение себестоимости получаемой пресной воды вследствие высокой стоимости реагентов. Однако перспектива утилизации побочных продуктов, получающихся в процессе термоумягчения, может значительно повысить рентабельность метода.

В Советском Союзе широкое распространение получил метод предотвращения накипеобразования с помощью «затравки» (модификация метода контактной стабилизации Ланжелье). Этот метод заключается в следующем. В исходную испаряемую воду перед ее поступлением на установку вводят мелкодисперсное вещество состава выделяющейся накипи. Соединения, образующие накипь, кристаллизуются на частицах затравки, а поверхности теплообменных аппаратов остаются свободными от накипи. Затравку, выводимую из опреснительной установки с концентратом морской воды, улавливают с помощью вертикального отстойника и возвращают в систему.

Применение этого метода эффективно в аппаратах специальной конструкции, в которых кипение из трубок греющих камер вынесено в надтрубное пространство (вынесенная зона кипения).

Основными типами дистилляционных установок, которые в настоящее время получают широкое распространение, являются установки мгновенного испарения и многокорпусной выпарки. У специалистов отсутствует единое мнение в вопросе выбора типа дистилляционной установки, но расчеты показывают, что экономичность их примерно одинакова. Следует отметить, что каждой стоимости тепла для любой опреснительной установки соответствует свое оптимальное число ступеней. Под оптимальным числом ступеней понимается такое, при котором обеспечивается наименьшая сумма затрат на тепло, отчислений от капитальных вложений и эксплуатационных затрат, т. е. наименьшая стоимость дистиллята.

Метод мгновенного испарения («флеш») основан на явлении снижения температуры кипения воды по мере уменьшения давления в испарителях. Подогретая вода, поступая в изолированную вакуумированную камеру (испаритель), частично мгновенно испаряется. Чем выше температура воды и чем глубже вакуум, тем больше вода испарится. На рис. V.71 показана принципиальная схема многоступенчатой (шесть ступеней) прямоточной опреснительной установки. Каждый испаритель (*1—6*) представляет собой камеру с трубчатым теплообменником в верхней части *7*, под которым имеется лоток *8* для сбора и отведения дистиллята. Для очистки пара от капелек соленой воды предназначен пластинчатый сепаратор пара *9*. В самой верхней части камеры имеется штуцер *10* для отсоса эжекторным блоком *11* неконденсирующихся газов.

Исходная соленая вода *12*, предварительно обработанная для предотвращения образования накипи, последовательно протекая через указанные трубчатые теплообменники, постепенно нагревается до температуры 75—85° С за счет скрытой теплоты конденсации пара, а затем доводится до температуры 90—100° С в вынесенном головном подогревателе *13*. Нагретая таким образом вода вводится в первую камеру, которая служит одновременно деаэратором, и далее последовательно протекает через камеры установки под снижающимся вакуумом, соответствующим

в последней камере температуре 45° С. Не испарившаяся вода откачивается по трубе *14* из последней камеры (из-под вакуума) насосом *15* и сбрасывается в дренаж. Дистиллят из лотков откачивается насосом *16* (из-под вакуума) в резервуар пресной воды.

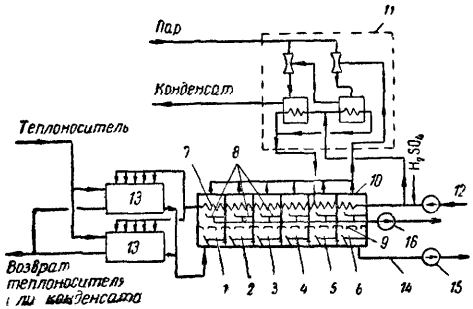


Рис. V.71

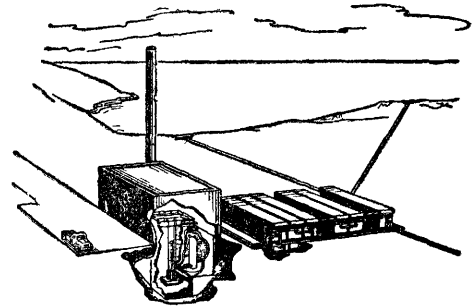


Рис. V.72

Описанная опреснительная установка будет частью крупнейшего в мире завода производства дистиллята, производительность которого при полном развитии составит 140 тыс. м³ пресной воды в сутки (разработка Свердловского НИИХиммаш). Производительность установки мгновенного испарения 15 тыс. м³ дистиллята в сутки При этом выход дистиллята на 1 т пара составит 8,5 м³. Общая установленная электрическая мощность 2600 квт, расход исходной (морской) воды 3600 м³/ч.

Для конкретных условий полуострова Мангышлак оптимальное число ступеней опреснительной установки мгновенного испарения составило 34—40, рабочая температура в первой камере 101° С и в последней камере 35° С.

Следует отметить, что, по мнению специалистов, установки мгновенного испарения весьма перспективны для осуществления опреснительных двухцелевых (производящих пресную воду и электроэнергию) заводов большой мощности, использующих низкопотенциальное тепло атомных реакторов (рис. V.72).

Другой технологической схемой в технике термического опреснения являются установки многокорпусной выпарки — с вертикальными длиннотрубными испарителями-корпусами, включенными последовательно в количестве от четырех до десяти. В нашей стране такие установки получили большее распространение, чем установки мгновенного испарения; они успешно эксплуатируются с 1963 г. в г. Шевченко на Каспийском море. Эти установки имеют относительно небольшое число корпусов (четыре-пять). В настоящее время сооружается более экономичная по затратам тепла десятикорпусная установка (рис. V.73). Исходная вода, освобожденная на сетках морского водоприемника от грубых примесей, поступает в главный конденсатор, где нагревается до 36° С. Затем, пройдя деаэратор и систему регенеративных подогревателей, она поступает в первый корпус выпарных аппаратов. Для предотвращения образования накипи в системе применен метод затравочных кристаллов (затравки). Мелкоразмолотый природный мел ($CaCO_3$) вводится в опресняемую воду однократно при запуске установки и затем осуществляется рециркуляция затравки.

Вакуум в установке создается и поддерживается с помощью специальных пароэжекционных устройств и водокольцевых вакуум-насосов. Установки с четырьмя-пятью корпусами оборудуются выпарными аппаратами с естественной циркуляцией. Такие аппараты могут эффективно работать при полезной разности температур в них не менее 10—12° С.

Для установок с десятью корпусами применяют аппараты с принудительной циркуляцией. Они имеют устойчивые показатели (скорость циркуляции, коэффициент теплопередачи) при любых перепадах температур. Производительность десятикорпусной установки (построенной в

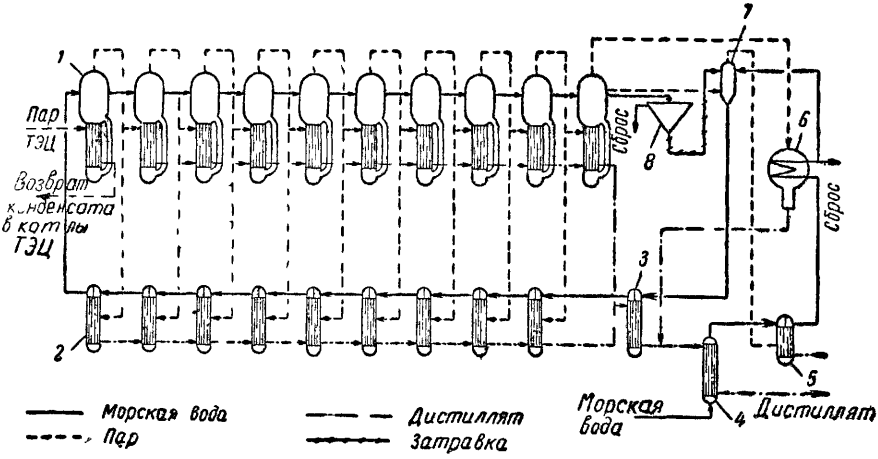


Рис. V.73

1 — выпарные аппараты; *2* — регенеративные подогреватели; *3* — дистиллятный подогреватель; *4* — охладитель дистиллята; *5* — охладитель выпара; *6* — главный конденсатор; *7* — деаэратор; *8* — отстойник для улавливания затравки

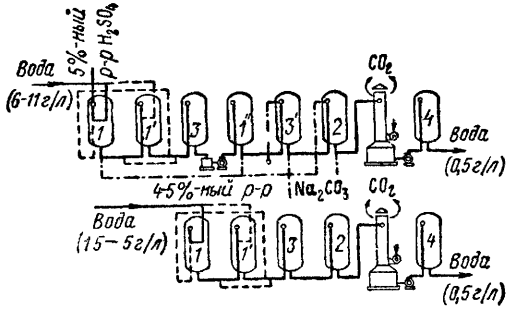


Рис. V.75

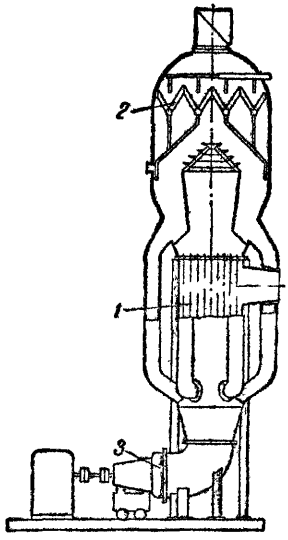


Рис. V.74

г. Шевченко) составляет 18 тыс. м³ дистиллята в сутки. Установка эксплуатируется при температуре кипения морской воды в первом корпусе не выше 100—110° С, чтобы избежать выпадения из морской воды сульфата кальция. Температура кипения в десятом корпусе 40° С.

Выпарной аппарат оригинальной отечественной конструкции (рис. V.74) состоит из греющей камеры *1*, сепаратора *2* и циркуляционного насоса *3*. Греющая камера имеет поверхность нагрева площадью

1600 м², диаметр 3,4 м и высоту 6 м. Очистка пара от капельного уноса производится наклонным жалюзи сепаратора.

На действующей в г. Шевченко установке дистиллят используется не только для приготовления питьевой воды, но и частично для подпитки паровых котлов, поэтому в первых двух корпусах применены более сложные жалюзийные ловушки, имеющие специальные барботажные тарелки с S-образными элементами для более глубокой очистки пара от капелек соленой воды.

Принудительная циркуляция в аппаратах осуществляется с помощью специальных осевых насосов, соединенных с электродвигателями карданным валом с двойным шарниром. Характеристика насоса: подача 18 000 м³/ч и напор 1,5 м. Мощность электродвигателя 160 кВт.

Регенеративные подогреватели по своей конструкции аналогичны трубчатым теплообменникам и имеют поверхность нагрева площадью 300 м². Главный конденсатор — стандартный аппарат, применяемый в теплоэнергетике. Опреснительная установка размещается на открытом воздухе на площадке между рельсами козлового крана, с помощью которого производится монтаж и ремонт оборудования. Основной конструкционный материал аппаратуры, соприкасающийся с морской водой, — двухслойная сталь Ст3+Х18Н10Т. Материал трубок (теплообменных поверхностей) греющих камер и регенеративных подогревателей — алюминиевая латунь, стабилизованная мышьяком.

Ионообменное опреснение воды, как и ионообменное обессоливание, заключается в последовательном фильтровании соленой воды через катионитные и анионитные фильтры, периодически регенерируемые кислотой и щелочью. Рентабельность применения этого метода ограничивается исходным содержанием растворенных солей 1,5—2,5 г/л. Однако при необходимости, когда себестоимость воды не играет большой роли, можно опреснять ионообменным методом воду с весьма высоким солесодержанием.

На рис. V.75 показаны технологические схемы многоступенчатых ионообменных опреснительных установок для природных вод с содержанием растворенных солей 1,5—5 и 6—11 г/л. По этим схемам в Советском Союзе построены и с 1958 г. эксплуатируются промышленные установки.

Схема для опреснения воды, содержащей 1,5—5 г/л, состоит из двух катионитных фильтров (*1* и *1'*) с сильнокислотным катионитом КУ-2-8 и одного фильтра *2* с катионитом-сульфоуглем, регенерируемых серной кислотой, и одного анионитного фильтра *3* с среднеосновным анионитом ЭДЭ-10П, регенерируемого кальцинированной содой, дегазатора и фильтра *4* с мраморной крошкой.

Катионитные фильтры, сильно- и слабокислотный, предварительно переведенные в Na-форму нейтральной водой после отмывки анионитных фильтров, содержащей большое количество ионов Na, регенерируются одной порцией 5%-ного раствора серной кислоты, которую пропускают последовательно через сильнокислотный, а затем через слабокислотный катионит до появления кислой реакции за последним фильтром (расход кислоты, близкий к теоретически необходимому). Удельный расход серной кислоты 56—60 г на 1 г-экв задержанных катионов.

Анионитный фильтр регенерируется раствором 4—5%-ной кальцинированной соды, расходуемой в некотором избытке против теоретически необходимого количества. Удельный расход соды 75 г на 1 г-экв задержанных анионов.

Ионообменный способ опреснения имеет ряд достоинств: простота оборудования, малый расход исходной воды на собственные нужды (15—20% производительности установки), малый расход электроэнергии, малый объем сбросных вод и др. Недостаток ионообменного метода — необходимость в расходовании реагентов; однако в рассмотренных технологических схемах расход их сведен до минимума.

Верхний предел солесодержания, при котором применение ионообменного способа является целесообразным, должен определяться экономическими соображениями. В специальной литературе описываются несколько различных технологических схем ионообменного опреснения соленых вод (см. И. Э. Апельцин, В. А. Клячко «Опреснение воды». М., Стройиздат, 1968).

Электродиализ как метод опреснения соленых вод получил промышленное значение лишь после освоения производства селективных ионообменных мембран из ионитных смол. Если такой мембраной разграничить раствор поваренной соли (или другого электролита), а затем по

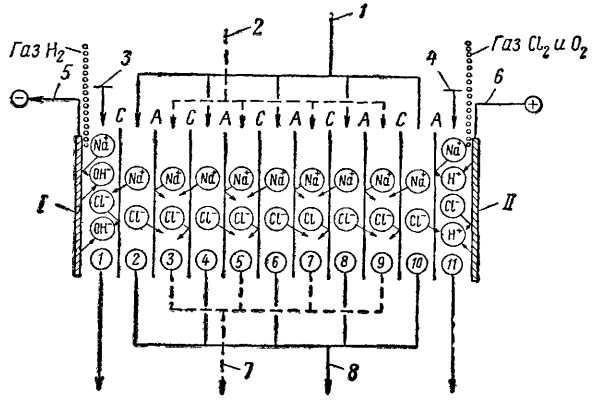


Рис. V.76

1 и *2* — подача солоноватой воды соответственно на опреснение и в рассольные ячейки; *3* и *4* — промывка камер соответственно катодной и анодной; *5* и *6* — к полюсу выпрямителя соответственно отрицательному и положительному; *7* — концентрированный рассол; *8* — опресненная вода

обе стороны мембраны поместить электроды, соединенные с источником постоянного тока, то мембрана будет проявлять свойства униполярного проводника. С помощью ионов мембрана проводит ток лишь одного знака. Изготовленная из катионита, она пропускает положительно заряжен-

Таблица V.18

Мембраны	Размеры мембран в мм	Прочность на разрыв в кгс/см²	Набухаемость в воде в %	Удельное сопротивление в 0,1 н. растворе NaCl	Селективность в 0,1 н. растворе NaCl
Катионитовые:					
МКК	1000×500×0,2	110—120	7—8	90—100	0,95—0,96
МК-40	1000×500×0,3	130—150	11—12	150—180	0,96—0,97
Анионитовые:					
МАК	1000×500×0,15	115—130	8—9	80—100	0,95—0,96
МА-40	1000×500×0,3	130—180	11—12	180—200	0,93—0,96

ные ионы, а анионитовая мембрана пропускает только отрицательно заряженные ионы. Это свойство называется селективностью ионообменных мембран, на нем основан метод электродиализного (электроионитного) опреснения воды. В табл. V.18 приведены основные свойства мембран марок МКК, МК-40, МАК и МА-40, выпускаемых в СССР серийно.

Мембраны изготовляют из термопластичного полимерного связующего (полиэтилен, полипропилен и др.) и ионообменных смол (КУ-2, ЭДЭ-10П и др.) в виде гибких листов прямоугольной формы. Они имеют

большую механическую прочность, высокую селективность и низкое электросопротивление. Срок службы мембран — три — пять лет.

Обрабатываемую воду разделяют чередующимися катионитовыми и анионитовыми мембранами, образующими также чередующиеся концентрирующие и обессоливающие ячейки. Через такую систему пропускается постоянный электрический ток (электрическое поле горизонтального или вертикального направления). Катионы, двигаясь к катоду *I* (рис. V.76), свободно проникают через катионитовые мембраны *C*, но задерживаются анионитовыми мембранами *A*, а анионы, двигаясь в направлении анода *II*, проходят через анионитовые мембраны, но задерживаются катионитовыми. В результате этого из одних ячеек (например, из четных) ионы обоих знаков выводятся электрическим током постоянного направления в смежные ячейки. Поэтому вода в четных ячейках опресняется, а в смежных ячейках концентрация ионов эквивалентно повышается. Аппарат, в котором производится отделение солей от воды, называется многокамерным электродиализатором. Он имеет по одному катоду и аноду (изготовленных из специального графита или платинированного титана) и до 300 ячеек-камер, образованных стенками катионитовых и анионитовых мембран.

Расстояние между мембранами в аппарате обычно принимается от 0,7 до 1,5 мм (размер ячейки). Большое количество мембран специальным устройством поддерживается в строго фиксированном положении. Во избежание коробления и для сохранения размеров ячеек мембраны фиксируются сепараторными сетками из полихлорвинила.

Большое число ячеек в одном электродиализаторе при наличии одного анода и катода сводит до минимума потери на разряд ионов на электродах. Такое инженерное решение позволяет значительно уменьшить расход энергии на отделение солей от воды. Удельный расход электрической энергии на опреснение (без учета расхода энергии на работу насосных агрегатов) W в квт·ч/л определяется из уравнения

$$W = \frac{26{,}8\,(C_0 - C_к)\,E}{n\eta \cdot 10^6},$$

где 26,8 — количество А·ч, необходимых для переноса 1 г-экв соли;
C_0 и $C_к$ — солесодержание соответственно исходной и опресненной воды в мг-экв/л;
E — полное напряжение на электродиализаторе в В;
n — количество ячеек (парных) в электродиализаторе;
η — коэффициент выхода по току, принимаемый для современных установок от 0,8 до 0,9 (в зависимости от солесодержания опресняемой воды).

Коэффициент выхода по току зависит от селективности мембран, расхода энергии на побочные электродные процессы, от потерь энергии на выделение джоулева тепла и от размера утечек тока, определяемых конструкцией электродиализатора.

В нашей стране получили широкое распространение электродиализные опреснительные установки типа ЭДУ, выпускаемые серийно производительностью от 5 до 1000 м³ пресной воды в сутки (ЭДУ-5, ЭДУ-50, ЭДУ-100, ЭДУ-1000). В перспективе намечено создание более крупных установок.

Технологические схемы электродиализных опреснительных установок типа ЭДУ в комплексе состоят из следующих узлов: предварительной подготовки исходной воды, собственно электродиализной установки с комплектующим оборудованием, насосов опресненной воды со сбор-

ным резервуаром, фильтров улучшения качества воды (УКВ) и бактерицидных ламп, кислотного хозяйства, хозяйства сжатого воздуха.

Установки ЭДУ-5, ЭДУ-50 и ЭДУ-100 — порционного типа, а установка ЭДУ-1000 — прямоточная.

В установке ЭДУ-50 (рис. V.77) исходная солоноватая вода поступает на фильтры предварительной подготовки *1* и затем в питающий *2* и рассольный *3* баки. Насосами *4*, *5* и *6* соответственно на электродиа-

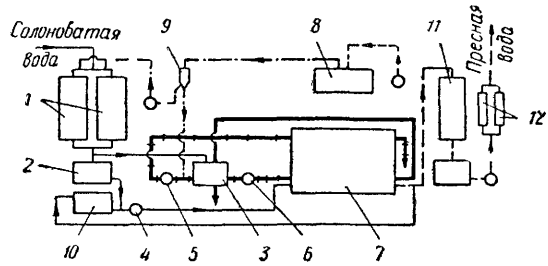
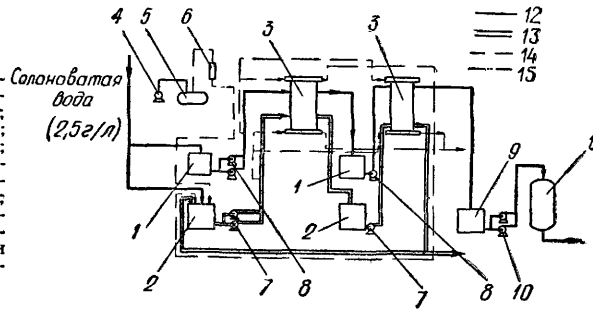


Рис. V.77

лизатор *7* (с горизонтальным электрическим полем) подаются по трубам диализат (опресняемая вода), рассол и промывной раствор. Промывка приэлектродных камер электродиализатора происходит последовательно со сбросом промывного раствора в дренаж, а межпакетных пространств — параллельно с возвратом промывного раствора в рассольный бак. Промывной раствор и рассол подкисляются серной кислотой до pH от 3,5 до 4. Подача кислоты из контейнера *8* в мерник *9* и в

Рис. V.78

1 — баки опресняемой воды; *2* — баки рассола (концентрата); *3* — электродиализаторы; *4* — компрессор; *5* — контейнер с серной кислотой; *6* — мерник; *7* — рассольные насосы; *8* — дилюатные насосы (опресняемой воды); *9* — промежуточная емкость; *10* — насосы пресной воды; *11* — фильтр с активированным углем и мраморной крошкой; *12* — линии опресняемой воды; *13* — линии рассола; *14* — линии промывной воды; *15* — линии кислоты



систему подкисления автоматизирована. Циркуляция диализата происходит на установке по контуру: дилюатный бак *10* — дилюатный насос *4* — электродиализатор *7*; циркуляция рассола по контуру: рассольный бак *3* — рассольный насос *5* — электродиализатор *7*. Опресненная до заданной на солемере величины вода поступает на фильтр УКВ *11* и далее после бактерицидных ламп *12* выдается потребителю. Процесс опреснения на установке полностью автоматизирован.

Данные о солевом составе воды в системах диализата и рассола записываются на диаграммах солемера и кондуктометра.

На рис V.78 приведена принципиальная схема прямоточной электродиализной опреснительной установки ЭДУ-1000, рассчитанной на опреснение воды с содержанием растворенных солей 2,5 г/л.

Исходная солоноватая вода подается насосами *7* и *8* через одну нитку двух последовательно соединенных элект одиализаторов *3* и по-

следовательно проходит по двум ступеням опреснения. Рассол подается на установку по противотоку с применением рециркуляции.

Применяемые в ЭДУ-1000 электродиализаторы имеют вертикальное электрическое поле. Опреснительная установка ЭДУ-1000 полностью автоматизирована; пуск ее осуществляется от одной кнопки с собственного щита или дистанционно.

На электродиализных установках широко применены полимерные материалы благодаря их высоким диэлектрическим свойствам. Электродиализаторы работают под большим напряжением (до 500 В) в условиях высокой влажности, когда при использовании других материалов неизбежны большие утечки тока, значительно снижающие производительность подобных аппаратов и повышающие удельный расход электроэнергии. К полимерным материалам наряду с определенными физико-механическими требованиями предъявляются еще и специальные требования санитарных органов, т. е. они не должны выделять в воду вещества, вредные для организма человека.

На установках типа ЭДУ рамные плиты выполнены из капролона; корпусные рамки-прокладки, образующие между мембранами рабочие ячейки, и закладные перфорированные сетки-сепараторы, — из поливинилхлоридной пленки.

В последние годы внимание специалистов привлекает новый метод опреснения, заключающийся в фильтровании воды через специальные полупроницаемые мембраны. При этом давление, под которым осуществляется фильтрование, должно превышать осмотическое, обусловленное различием концентраций солей в пресной и соленой воде (для воды океана с солесодержанием 35 г/л осмотическое давление составляет примерно 24 кгс/см^2). Пресная вода проходит через мембрану, а ионы солей задерживаются. Этот метод опреснения в нашей стране назван «гиперфильтрацией», в зарубежной литературе его часто называют «обратным осмосом».

Этот метод обладает рядом достоинств: минимальный расход энергии (7—8 кВт·ч/м^3 пресной воды, получаемой из соленой с содержанием солей 35 г/л), простота конструкции и эксплуатации установок.

Существуют несколько гипотез для объяснения процесса отделения солей от воды при прохождении ее через мембрану под действием приложенного давления. Рассмотрим три из них.

Гипотеза сорбционного механизма основана на свойствах полупроницаемой мембраны адсорбировать своей поверхностью молекулы воды. Таким образом, на поверхности мембраны образуется тонкий слой пресной воды (который необходимо непрерывно отводить) толщиной не менее 4—6 Å. С понижением солесодержания в исходной воде толщина слоя увеличивается. Подходящими поверхностными свойствами, по мнению авторов гипотезы, обладают мембраны из ацетилцеллюлозы, целлофана, обработанного силиконом, найлона.

Гипотеза связанной и капиллярной воды предполагает наличие в структуре мембран (например, ацетилцеллюлозных) связанной и капиллярной воды. Первая из них непосредственно связана с активными группами в структуре материала мембраны, вторая (капиллярная) заполняет промежутки внутри этой структуры. По гипотезе, мембрана состоит из поверхностного слоя, содержащего связанную воду и практически не содержащего капиллярной воды, и основного объема мембраны, преимущественно содержащего капиллярную воду. Связанная вода (в силу ее физико-химической природы) не обладает способностью растворять соли исходной воды и поэтому не пропускает ионы солей. Гидратационная способность связанной воды утрачена при создании водо-

родной связи со свободными гидроксильными группами мембраны (например, ацетилцеллюлозы). Пресная вода, проходящая через поверхностный слой мембраны, содержащий связанную воду, непрерывно разрывает и вновь образует водородные связи между молекулами воды и гидроксильными группами ацетилцеллюлозы. По этой гипотезе давление расходуется на разрыв и образование водородных связей.

Согласно третьей гипотезе в мембране существуют поры, которые свободно пропускают молекулы воды и не пропускают гидратированных ионов растворенных солей из-за их размеров. Предполагается, что вода

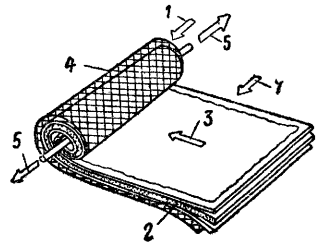


Рис. V.79

1—подача соленой воды; *2*—поддерживающий лист с мембранами на каждой стороне; *3* — ход очищенной воды после прохода через мембрану; *4* — прокладка со стороны соленой воды; *5* — очищенная пресная вода

и часть солей проникают через мембрану с помощью двух параллельных процессов: диффузии и проникания через поры под действием приложенного давления.

Метод гиперфильтрации найдет в ближайшем будущем широкое применение как для опреснения солоноватых вод, так и для приготовления питательной воды для котлов, очистки промышленных стоков и доочистки бытовых сточных вод.

Для практического осуществления процесса, как и в электродиализе, требуется сборка мембранных аппаратов, или, как их называют, модулей мембран. Существует четыре типа модулей мембран: 1) фильтр-пресс; 2) рулонный — спиральная мембрана (рис. V.79); 3) трубчатый (мембраны в виде трубок); 4) полое волокно.

В настоящее время получает распространение идея изготовления мембран непосредственно в установке путем намыва (гидрокастинг).

Глава 24

ОСОБЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

§ 131. УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ ЖЕЛЕЗА

Железо в природных водах может содержаться либо в ионной форме (в виде двухвалентного железа, а также в виде неорганических и органических коллоидов), либо в форме комплексных соединений двух- и трехвалентного железа или тонкодисперсной взвеси гидрата окиси железа.

В подземных водах железо чаще всего встречается в виде растворенного двухвалентного железа, а в поверхностных водах — в виде комплексных соединений либо в виде коллоидных или тонкодисперсных взвесей.

Выбору метода обезжелезивания воды должно предшествовать ее пробное обезжелезивание, так как количественное содержание железа, указываемое в анализах, не дает представления о форме, в которой железо присутствует в воде. Пробное обезжелезивание воды заключается в моделировании обезжелезивающей установки по тому или иному существующему методу устранения из воды железа, а именно: 1) аэра-

цией воды с последующим ее фильтрованием или отстаиванием и фильтрованием; 2) коагулированием; 3) известкованием; 4) хлорированием и коагулированием. По результатам пробного обезжелезивания воды выбирают такой метод, при котором достигается требуемый эффект обезжелезивания воды при наименьших строительных и эксплуатационных затратах.

Для обезжелезивания подземных вод чаще всего применяют аэрацию воды без добавления реагентов. Согласно данным НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды, обезжелезивание фильтрованием с так называемой «упрощенной аэрацией» может применяться для подземных вод при общем содержании железа до 10 мг/л (в том числе двухвалентного железа не менее 50%), pH не менее 6,7, щелочности не менее 1 мг-экв/л, содержании сероводорода до 1 мг/л и перманганатной окисляемости не более 6—7 мг/л.

Станция обезжелезивания воды, работающая по методу «упрощенной аэрации», состоит из фильтров, загруженных песком, антрацитом, керамической крошкой и т. п. Крупность фильтрующей загрузки принимается в пределах 0,8—1,8 мм (при высоте слоя загрузки 1 м и скорости фильтрования 5—7 м/ч) или 1—2 мм (при высоте слоя загрузки 1,2 м и скорости фильтрования 8—10 м/ч).

Для окисления двухвалентного железа в трехвалентное, задерживаемое фильтром в виде гидрата окиси, требуется обогащение воды кислородом в количестве 0,6—0,9 мг на 1 мг двухвалентного железа. Аэрация при данном методе осуществляется простейшими приемами — при открытых фильтрах изливом воды из подающей трубы в карман или центральный канал фильтра с высоты 0,5—0,6 м при скорости истечения из трубы 1,5—2 м/с. При применении напорных фильтров воздух можно подавать компрессором в трубу, по которой вода подается в фильтры.

Возможность применения метода обезжелезивания воды «упрощенной аэрацией» и фильтрованием в каждом конкретном случае перед разработкой проекта станции обезжелезивания проверяется пробным обезжелезиванием, выполняемым у используемой скважины [1].

Если пробным обезжелезиванием определено, что метод «упрощенной аэрации» и фильтрования не дает необходимых результатов, то можно применить более интенсивную аэрацию, сущность которой заключается в насыщении воды кислородом воздуха. За счет этого кислорода происходит окисление двухвалентного железа, содержащегося в воде, в трехвалентное. При определенных значениях pH воды трехвалентное железо гидролизуется и образовавшаяся гидроокись железа коагулирует.

Скорость процессов окисления, гидролиза и коагуляции гидроокиси железа возрастает с увеличением pH воды. Указанные процессы быстро завершаются при pH=7,5. Значение pH воды подземных источников часто ниже этой величины. Для поднятия значения pH воды до 7,5 из нее должно быть удалено некоторое количество свободной углекислоты

При известной щелочности исходной воды концентрация свободной углекислоты в ней, соответствующая pH=7,5 ($C_{опт}$), равна (в мг/л):

$$C_{опт} = C_{ном}\,\beta\gamma,$$

где $C_{ном}$ — концентрация свободной углекислоты в мг/л, определяемая

[1] Методика пробного обезжелезивания описана в «Технических указаниях на проектирование и эксплуатацию установок по обезжелезиванию воды фильтрованием». М., Изд. АКХ, 1972.

Таблица V.19

Солесодержание воды в мг/л	100	200	300	400	500	750	1000
β	1,05	1	0,96	0,94	0,92	0,87	0,83

Таблица V.20

Температура воды в °С	0	10	20	30	40	50	60
γ	1,55	1,21	1	0,9	0,89	0,8	0,79

по номограмме на рис. V.80 при заданных значениях pH и щелочности воды;

β — поправка на солесодержание воды (табл. V.19);

γ — поправка на температуру воды (табл. V.20).

Суммарное расчетное количество свободной углекислоты, которое нужно удалить для поднятия pH воды до 7,5, может быть определено по формуле (в мг/л):

$$C_{у} = 1{,}57C_{Fe} + (C_{нач} - C_{опт}),$$

где 1,57 — количество свободной углекислоты в мг, выделяющейся при гидролизе 1 мг железа, содержащегося в исходной воде;

C_{Fe} — общее содержание железа в обезжелезиваемой воде в мг/л;

$C_{нач}$ — начальная концентрация свободной углекислоты в исходной воде в мг/л.

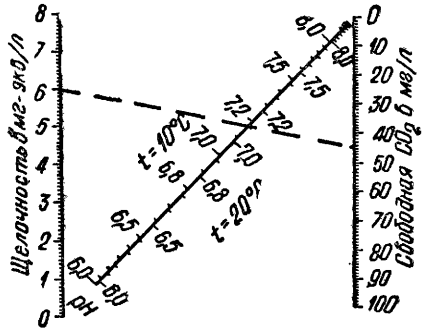


Рис. V.80

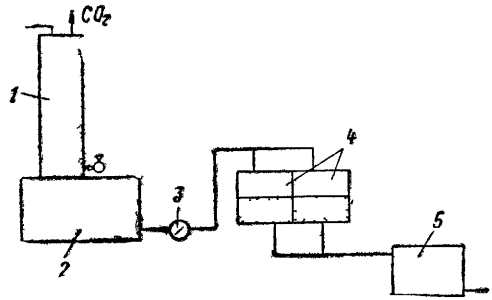


Рис. V.81

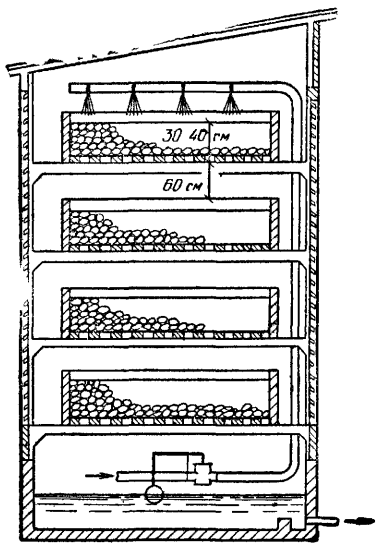


Рис. V.82

Величину $C_{нач}$ принимают по данным анализа воды или определяют по номограмме на рис. V.80, аналогично определению $C_{опт}$. Очевидно, что максимальная концентрация свободной углекислоты в воде в начале аэрации будет $C_{макс} = 1{,}57\,C_{Fe} + C_{нач}$.

Аэрация воды с целью удаления углекислоты может осуществляться либо на вентиляторных градирнях (дегазаторах), либо на так называемых контактных градирнях, работающих при естественной вентиляции. Так как на вентиляторных дегазаторах допускается плотность орошения насадки в 4—5 раз бóльшая, чем на контактных градирнях, последние следует применять лишь для установок небольшой производительности (примерно до 75 м³/ч).

На рис. V.81. показана схема обезжелезивающей установки с вентиляторным дегазатором. Вода из скважин поступает на дегазатор *1* и далее сливается в контактный резервуар *2*. Контактный резервуар служит для завершения процесса окисления двухвалентного железа в трехвалентное, гидролиза последнего и для образования хлопьевидного осадка гидрата окиси железа. Емкость контактного резервуара рассчитывают на пребывание воды в нем в течение 30—40 мин. Для более полного использования объема резервуара целесообразно устанавливать в нем направляющие перегородки.

Из контактного резервуара вода насосами *3* или, если позволяет рельеф местности, самотеком поступает на осветлительные фильтры *4* (открытые или напорные). Назначение фильтров — задерживать хлопья гидрата окиси железа, которые поступают с водой из контактного резервуара. После фильтров вода сливается в резервуар чистой воды *5* и далее подается потребителям.

Поскольку артезианская вода при проходе через очистные сооружения может лишиться своей бактериальной чистоты, по решению органов Государственного санитарного надзора может потребоваться ее обеззараживание. Его осуществляют хлорированием или бактерицидным облучением воды.

Контактная градирня (рис. V.82) состоит из короба с жалюзи по бокам для обеспечения естественной вентиляции. В коробе помещаются несколько расположенных друг над другом ящиков с дырчатым днищем, загруженных слоями насадки (куски кокса, шлак, гравий, пемза и др.). Под коробом расположен контактный резервуар.

При проектировании вентиляторных дегазаторов и контактных градирен принимают нагрузку на 1 м² площади соответственно 60 и 15 м³/ч.

Необходимую площадь поверхности загружаемой насадки, а следовательно, и ее высоту находят по формуле (в м²)

$$F = \frac{G}{K\Delta C_{ср}},$$

где G — количество удаляемой свободной углекислоты в кг/ч;

K — коэффициент десорбции, равный количеству газа, удаляемого в единицу времени через единицу площади поверхности соприкосновения жидкой и газообразной сред при движущей силе процесса десорбции, равной единице, в м/ч;

$\Delta C_{ср}$ — средняя движущая сила процесса десорбции в кг/м³.

Величину G (в кг/ч) определяют по формуле

$$G = \frac{q_{час}\,C_{у}}{1000},$$

где $q_{час}$ — расход обезжелезиваемой воды в м³/ч.

Значение K находят по графику на рис. V.83, а $\Delta C_{ср}$ (в кг/м³) по формуле

$$\Delta C_{ср} = \frac{C_{макс} - C_{опт}}{2{,}3 \lg \frac{C_{макс}}{C_{опт}}}.$$

Характеристика насадок, которые могут быть использованы для загрузки в дегазатор, приведена в табл. V.21.

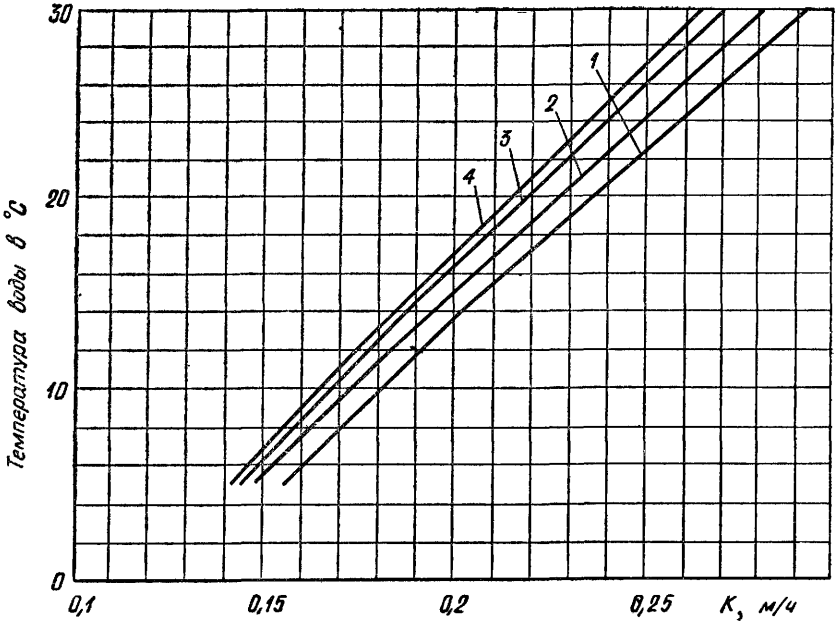


Рис. V 83

1 — для колец Рашига размером 25×25×3 мм; *2* — для гравия средним размером 42 мм; *3* — для кокса средним размером 43 мм; *4* — для кокса средним размером 41 мм

Таблица V 21

Вид насадки	Средний размер элементов насадки в мм	Количество элементов насадки в 1 м³	Удельная площадь поверхности насадки в м²/м³	Масса насадки в кг, приходящаяся на 1 м³ дегазатора
Кольца Рашига керамические	25×25×3	53 200	204	532
Гравий	42	14 400	80,5	—
Кокс кусковой	43	14 000	77	455
То же	41	12 250	86	585

При загрузке контактных градирен принимают три — пять слоев насадки толщиной по 30—40 см с расстоянием между слоями не менее 60 см.

Для загрузки фильтров следует применять песок крупностью 0,5—1,2 мм, высотой слоя 1200 мм.

В последние годы для обезжелезивания подземных вод начали применять катализаторы. В качестве катализаторов применяют либо природный минерал пиролюзит, либо обычный кварцевый песок, обработанный окислами марганца («черный песок»). Сущность этого способа

заключается в том, что в присутствии окислов марганца процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное значительно ускоряется и может быстро осуществляться даже при пониженных pH воды.

Установка по обезжелезиванию воды в этом случае состоит из двух последовательных групп фильтров. Первую группу фильтров загружают либо пиролюзитом, либо омарганцованным песком. Крупность зерен загрузки принимают 0,7—1,5 мм, высоту слоя загрузки — 900 мм, скорость фильтрования — 15 м/ч. Для восстановления окислительных свойств «черного песка» следует предусматривать периодическое добавление в обезжелезиваемую воду перманганата калия из расчета 2—3 мг/л. Фильтры второй группы — песчаные, такие же, как и при обезжелезивании воды аэрацией.

При необходимости удаления железа из воды поверхностных источников чаще всего прибегают к коагулированию, которое иногда приходится комбинировать с предварительным хлорированием воды для разрушения органических соединений железа или защитных коллоидов, препятствующих коагуляции коллоидных соединений железа.

Обычно обезжелезивание поверхностных вод проводят одновременно с их осветлением на тех же сооружениях.

Если необходимо одновременное обезжелезивание и частичное умягчение воды, то прибегают к ее известкованию. Известкование является надежным универсальным методом обезжелезивания воды и приводит в то же время к снижению ее карбонатной жесткости.

§ 132. УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ

Чаще всего в процессе водоподготовки требуется удаление углекислоты, кислорода и сероводорода. Все три газа относятся к коррозийно-агрессивным газам, обусловливающим или усиливающим процессы коррозии металлов. Углекислота, кроме того, агрессивна по отношению к бетону. Свойство этих газов обусловливать и усиливать коррозийные процессы, а также неприятный запах, который сообщает воде сероводород, во многих случаях вызывают необходимость наиболее полного удаления их из воды.

Комплекс мероприятий, связанных с удалением из воды растворенных в ней газов, называется дегазацией воды.

Применяются химические и физические методы дегазации воды.

Сущность первых заключается в использовании определенных реагентов, которые связывают растворенные в воде газы. Например, обескислороживание воды может быть достигнуто путем введения в нее сульфита натрия, сернистого газа или гидразина. Сульфит натрия при введении его в воду окисляется растворенным в воде кислородом до сульфата натрия:

$$2Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2Na_2SO_4.$$

В случае применения сернистого газа образуется сернистая кислота:

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3,$$

которая кислородом, растворенным в воде, окисляется до серной кислоты:

$$2H_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2H_2SO_4.$$

Химическим реагентом, при помощи которого удается достичь практически полного обескислороживания воды, является гидразин.

При введении его в воду происходит связывание кислорода и выделение инертного азота:

$$N_2H_4 + O_2 \rightarrow 2H_2O + \overset{\uparrow}{N_2}.$$

Последний химический способ обескислороживания воды является наиболее совершенным, но вместе с тем и наиболее дорогим ввиду высокой стоимости гидразина. Поэтому этот способ применения в основном для окончательного удаления кислорода из воды после физических методов ее обескислороживания.

Примером химического метода удаления из воды сероводорода может служить обработка воды хлором:

а) с окислением до серы:

$$H_2S + Cl_2 \rightarrow S + 2HCl;$$

б) с окислением до сульфатов:

$$H_2S + 4Cl_2 + 4H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 8HCl$$

Эти реакции (так же как промежуточные реакции образования тиосульфатов и сульфитов) протекают параллельно в определенных соотношениях, зависящих в первую очередь от дозы хлора и pH воды. Химическим методам газоудаления свойственны следующие недостатки: а) необходимость применения реагентов, усложняющих и удорожающих процесс обработки воды; б) возможность ухудшения качества воды при нарушении дозировки реагентов. Вследствие этого химические методы газоудаления применяются значительно реже физических.

Физические методы удаления из воды растворенных газов могут осуществляться двумя способами: 1) вода, содержащая удаляемый газ, приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление удаляемого газа в воздухе близко к нулю; 2) создаются условия, при которых растворимость газа в воде становится близкой к нулю.

При помощи первого способа, т. е. при помощи аэрации воды, обычно удаляются свободная углекислота и сероводород, поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к нулю.

Ко второму способу обычно приходится прибегать при обескислороживании воды, так как при значительном парциальном давлении кислорода в атмосферном воздухе аэрацией воды кислород из нее удалить нельзя. Для удаления из воды кислорода ее доводят до кипения, при котором растворимость всех газов в воде падает до нуля. Вода доводится до кипения либо ее нагреванием (термические деаэраторы), либо путем понижения давления до такого значения, при котором вода кипит при данной ее температуре (вакуумные дегазаторы).

Удаление из воды растворенных газов в процессе водоподготовки осуществляется на дегазаторах различных типов, которые по их конструктивному устройству, характеру движения воды и воздуха и по обстановке, в которой осуществляется процесс дегазации, можно классифицировать следующим образом:

1) пленочные дегазаторы, представляющие собой колонны, загруженные той или иной насадкой (деревянной, кольцами Рашига и др.), по которой вода стекает тонкой пленкой. Насадка служит для создания развитой поверхности соприкосновения воды и воздуха, нагнетаемого вентилятором навстречу потоку воды;

2) барботажные дегазаторы, в которых через слой медленно движущейся воды продувается сжатый воздух;

3) вакуумные дегазаторы, где при помощи специальных устройств (вакуум-насосов или водоструйных эжекторов) создается такое давление, при котором вода кипит при данной температуре.

В технике водообработки в основном применяются пленочные дегазаторы и для обескислороживания воды вакуумные (или термические). Барботажные дегазаторы применяются в виде исключения из-за сравнительно высокой эксплуатационной стоимости (расхода электроэнергии на компрессию воздуха).

При проектировании дегазаторов должны быть определены следующие величины: площадь поперечного сечения дегазатора, необходимый расход воздуха, площадь поверхности насадки, требуемая для достижения заданного эффекта дегазации.

Площадь поперечного сечения дегазаторов должна определяться по допустимой плотности орошения насадки, т. е. по расходу воды, приходящемуся на 1 м^2 площади поперечного сечения дегазатора. При глубоком удалении из воды углекислоты (до 2—3 мг/л) на дегазаторах, загруженных кольцами Рашига (25×25×3 мм), допустимая плотность орошения насадки 60 м^3/(м^2·ч), удельный расход воздуха 15 м^3/м^3; на дегазаторах, загруженных деревянной насадкой из досок, соответственно 40 м^3/(м^2·ч) и 20 м^3/м^3; при обескислороживании воды на вакуумных дегазаторах допустимая плотность орошения насадки 5 м^3/(м^2·ч).

Требуемая площадь поверхности насадок, загружаемых в дегазатор, определяется по формуле, приведенной в § 131. Там же указаны методы определения остальных величин, входящих в эту формулу. Значения K находятся для каждого типа дегазаторов по соответствующим графикам[1].

§ 133. ФТОРИРОВАНИЕ И ОБЕСФТОРИВАНИЕ ВОДЫ

Как показывают опыт использования для питьевых целей природных вод, содержащих фтор (F^-), а также многочисленные специальные исследования, содержание фтора в воде не должно выходить за определенные пределы. Недостаток фтора в используемой воде вызывает распространение среди населения кариеса зубов (разрушение зубной эмали и дентина). Избыток фтора вызывает флюороз зубов, а в определенных условиях — и флюороз скелета.

В § 79 были приведены рекомендуемые пределы (верхний и нижний) содержания фтора в питьевой воде. Для соблюдения установленных норм необходимо или добавлять в подаваемую воду фтор или искусственно снижать его содержание в воде. Первая операция получила название «фторирование», вторая — «обесфторивание». Обе они нашли достаточно широкое применение в современной практике очистки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Фторирование воды. В условиях умеренного климата рекомендуемое содержание фтора в воде лежит в пределах 0,9—1 мг/л.

Фторирование воды осуществляется путем добавления к ней — в определенных дозах — различных фторсодержащих веществ. Практическое применение получили кремнефтористый натрий, кремнефтористый аммоний, фтористый натрий и др.

Доза используемого реагента (в мг/л) может быть определена по формуле

$$Д_ф = [na - (F^-)] \frac{100}{k} \cdot \frac{100}{C_ф},$$

где n — коэффициент, равный 1 при введении реагента в очищенную воду и равный 1,1 при введении реагента перед фильтрами;

[1] Подробнее см. А. А. Кастальский. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки. М., Госстройиздат, 1957.

a — требуемая концентрация фтора в питьевой воде;
F^- — содержание в мг/л фтора в природной воде;
k — содержание фтора в % в чистом веществе используемого реагента;
$C_ф$ — содержание в % чистого фторсодержащего вещества в техническом продукте[1].

При назначении схемы сооружений для фторирования воды необходимо учитывать как специфические свойства природной воды данного источника, так и характер процессов ее обработки (кроме фторирования) с учетом специфических свойств реагентов, используемых для фторирования.

Установка для фторирования обычно включает сооружения для приготовления раствора реагента, его дозирования и смешения с обрабатываемой водой. Для растворения реагента могут быть использованы различные конструкции растворных баков, а также сатураторы. Дозирование раствора реагента осуществляется при помощи дозировочных бачков, а также различными типами дозаторов. В зарубежной практике распространено также дозирование реагента в виде сухого порошка.

Обесфторивание воды. Обесфторивание воды может быть отнесено к достаточно сложным и дорогим процессам обработки воды.

Для обесфторивания применяются: 1) метод ионного обмена с использованием анионитов, селективных в отношении фтора (в частности, активированной окиси алюминия или гидроксилапатита);

2) метод сорбции с использованием свежевыделенных осадков (гидроокись алюминия или магния).

Ход процесса обесфторивания по первому методу при условии, что активированная окись алюминия при регенерации заряжена сульфатными ионами, может быть описан уравнениями:

$$[Ан]_2SO_4 + 2F^- \rightarrow 2[Ан]F + SO_4^{2-};$$

$$[Ан]_2SO_4 + 2HCO_3^- \rightarrow 2[Ан]HCO_3^- + SO_4^{2-}.$$

Этот процесс имеет то преимущество, что не приводит к ухудшению остальных показателей качества воды.

При этом необходимо, что содержание в воде сульфатных ионов не превысило допустимой нормы (500 мг/л).

Обесфторивание воды по первому методу осуществляется на напорных или открытых ионообменных фильтрах с дренажем из щелевых колпачков. В качестве анионита используется активированная окись алюминия. Фильтрующий слой активированной окиси алюминия (крупность 1—3 мм) в напорных фильтрах должен иметь высоту 2 м (при содержании в воде не более 5 мг/л фтора) или 3 м (при содержании в воде 8—10 мг/л фтора). В открытых фильтрах соответствующая высота слоя фильтрующего материала будет 2 и 2,5 м.

Фильтрующая загрузка укладывается на слой кварцевого песка (крупностью 2—4 мм) толщиной 10—15 см, располагаемого непосредственно над дренажной системой.

Скорость фильтрования рекомендуется принимать равной 6 м/ч для нормальной работы и не более 8 м/ч при выключении части фильтров на регенерацию.

Продолжительность периода полезной работы фильтра (в ч)

$$T = \frac{HE\omega}{q(C_{исх} - C_{ср})},$$

[1] Значения k и $C_ф$ даны в специальной литературе.

где H и ω — соответственно высота слоя фильтрующей загрузки в м и площадь фильтров в м²;
E — рабочая емкость поглощения фтора сорбентом (900—1000 г фтора на 1 м³ сорбента);
q — расход фильтруемой воды в м³/ч;
$C_{исх}$ и $C_{ср}$ — соответственно содержание фтора в исходной воде и среднее его содержание в фильтрате (за время T) в г/м³; приближенно $C_{ср}=0{,}4\ C_{пред}$, где $C_{пред}$ — предельно допустимое содержание фтора в обрабатываемой воде.

Регенерация фильтра производится раствором сернокислого глинозема крепостью 1—1,5% [по $Al_2(SO_4)_3$]. Перед регенерацией фильтр выключается из работы и производится взрыхление его фильтрующей загрузки [путем подачи обратного тока воды с интенсивностью 4—5 л/(с·м²) в течение 15 мин].

Рекомендуется заготовлять 10—17%-ный раствор $Al_2(SO_4)_3$ и подавать его на фильтр эжектором, где он будет разбавляться рабочей водой до требуемой крепости.

Расход сернокислого глинозема на одну регенерацию составляет

$$G=\frac{qT\,(C_{исх}-C_{ср})\,Д}{10b},$$

где $Д$ — доза $Al_2(SO_4)_3$ в г на 1 г задерживаемого фильтром фтора (составляет 40—50 г);
b — содержание $Al_2(SO_4)_3$ в техническом продукте (в %).

Подача раствора при регенерации осуществляется сверху вниз со скоростью 2—2,5 м/ч.

Наконец, после регенерации проводится отмывка водой загрузки фильтра от раствора и оставшегося в ее толще фтора [снизу вверх с интенсивностью 4—5 л/(с·м²)].

§ 134. СТАБИЛИЗАЦИЯ ВОДЫ

Стабильной называют воду, не вызывающую коррозии поверхностей, с которыми она соприкасается, и не выделяющую на этих поверхностях осадка карбоната кальция.

Нестабильными бывают как природные воды, так и вода после ее обработки на очистных сооружениях.

Степень стабильности воды можно оценивать несколькими способами (ГОСТ 3313—46). Экспериментальное определение стабильности воды сводится к тому, что исследуемую воду встряхивают вместе с введенным в нее карбонатом кальция в течение 1—2 ч на специальной машине. При этом до и после встряхивания замеряют общую щелочность воды или pH. Сущность этих испытаний заключается в том, что если в воде имеется избыток свободной углекислоты (признак коррозийности воды), то такая вода будет переводить часть соприкасающегося с ней карбоната кальция в бикарбонат кальция. Это приведет к повышению общей щелочности и pH воды. Если же, наоборот, вода представляет собой пересыщенный раствор карбоната кальция, то последний выделится на зернах карбоната кальция, введенного в воду перед ее встряхиванием. При этом общая щелочность воды и ее pH понизятся.

Значения показателя стабильности, согласно ГОСТ 3313—46, выражаются следующим образом:

$$C_0=\frac{Q}{S}\ \text{или}\ C_в=\frac{pH_{иссл}}{pH_{нас}},$$

где Q и S — общая щелочность исследуемой воды соответственно до и после встряхивания ее с карбонатом кальция в мг-экв/л;

$pH_{иссл}$ и $pH_{нас}$ — величины pH исследуемой воды соответственно до и после встряхивания ее с карбонатом кальция.

Если значение C_0 или $C_в$ равно единице, то это свидетельствует о стабильности воды; при значении C_0 или $C_в$ большем единицы, вода нестабильна и способна к отложению карбоната кальция на омываемых поверхностях; при значении C_0 или $C_в$ меньшем единицы, вода обладает коррозионной способностью.

При отсутствии таких опытных данных стабильность воды можно вычислить по так называемому индексу насыщения J:

$$J = pH_0 - pH_s,$$

где pH_0 — pH исследуемой воды;

pH_s — pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция[1].

Если $J=0$, то вода стабильна; при $J>0$ вода способна отлагать карбонат кальция; при $J<0$ вода обладает коррозионными свойствами.

Согласно СНиП II-Г.3-62 нестабильную воду необходимо подвергать стабилизации в следующих случаях: 1) если J превышает $+0{,}5$ в течение более десяти месяцев в году; 2) если $J<0$ более восьми месяцев в году.

Стабилизация воды при положительном значении индекса насыщения сводится к добавлению в нее кислоты (обычно серной или соляной), т. е. к понижению pH_0 до такого значения, чтобы значение J стало близким к нулю, вода стала стабильной и отложение карбоната кальция на омываемых поверхностях (стенки труб и др.) прекратилось.

Если вода агрессивна, т. е. $pH_0<pH_s$, то для ее стабилизации в нее нужно добавлять щелочные реагенты (известь, соду, едкий натр) в таком количестве, чтобы поднять pH_0 до величины pH_s, т. е. опять-таки сделать значение J близким к нулю.

При нестабильности воды в обоих случаях может быть применен гексаметафосфат натрия. При коррозийной воде добавка к ней гексаметафосфата натрия дает возможность образовать на внутренней поверхности стенок труб тонкую, но плотную метафосфатную пленку, которая предохраняет металл труб от непосредственного соприкосновения с водой. В случае способности воды отлагать карбонат кальция добавка в нее гексаметафосфата натрия предотвращает рост кристаллов карбоната кальция и их осаждение на стенках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Апельцин И. Э., Клячко В. А. Опреснение воды М., Стройиздат, 1968.

Кастальский А. А., Минц Д. М. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., «Высшая школа», 1962.

Клячко В. А, Апельцин И. Э. Очистка природных вод. М., Стройиздат, 1971.

Кожинов В. Ф. Очистка питьевой и технической воды М, Стройиздат, 1971.

Кургаев Е. Ф. Основы теории и расчета осветлителей М, Госстройиздат, 1962.

Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки вод. М, Стройиздат, 1964.

[1] О методе подсчета pH_s см. А. А. Кастальский, Д. М. Минц. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., «Высшая школа», 1962, а также СНиП II-Г.3-62.

Глава 25

ВИДЫ РЕГУЛИРУЮЩИХ И ЗАПАСНЫХ ЕМКОСТЕЙ

Емкости, используемые в системах водоснабжения, могут быть классифицированы следующим образом.

1. **По функциональному признаку** (по их назначению):

а) регулирующие;

б) запасные;

в) запасно-регулирующие (т. е. объединяющие в одном сооружении функции аккумулирования и хранения воды).

2. **По способу подачи воды из них в сеть:**

а) напорные, которые обеспечивают напор, необходимый для непосредственной подачи воды в водопроводную сеть;

б) безнапорные, из которых воду нужно забирать насосами[1].

Напорные емкости в зависимости от конструкции подразделяют на следующие основные типы:

а) водонапорные башни (напор обеспечивается установкой резервуара на поддерживающей конструкции требуемой высоты);

б) напорные резервуары (напор обеспечивается установкой резервуара на естественных возвышенностях с требуемыми отметками);

в) водонапорные колонны (занимают промежуточное положение между наземными резервуарами и башнями);

г) пневматические водонапорные установки (напор обеспечивается давлением сжатого воздуха на поверхность воды в герметически закрытых резервуарах).

Регулирующие емкости позволяют обеспечить более или менее равномерную работу насосных станций, так как отпадает необходимость в подаче ими пиковых расходов воды, а также уменьшить диаметр, а следовательно, и стоимость водопроводов и транзитных магистралей водопроводной сети.

Правильный выбор размеров регулирующих емкостей, их числа и мест расположения в системе водоснабжения имеет большое экономическое значение.

Запасные емкости способствуют повышению надежности систем водоснабжения, т. е. обеспечивают выполнение одного из основных требований, предъявляемых к этим системам.

Для правильного решения вопроса о выборе размеров емкостей при проектировании необходим тщательный технико-экономический анализ системы водоснабжения и намечаемого режима ее работы.

Разделение полной расчетной регулирующей емкости между несколькими башнями и резервуарами и их правильное размещение на местности могут в значительной степени снизить неравномерность нагрузки сети в отдельные моменты ее работы в результате изменений водопотребления.

---

[1] В зарубежной технической литературе емкости первого типа иногда называют активными, а емкости второго типа — пассивными.

Глава 26

ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

§ 135. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ И ОБОРУДОВАНИИ ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН

Основными элементами всякой водонапорной башни являются резервуар или бак *1* и поддерживающая конструкция *2* (рис. VI.1, *а*).

Емкость бака W и высота поддерживающей конструкции H (измеряемая от поверхности земли до низа бака) определяются в процессе проведения основных расчетов системы водоснабжения и принимаются как заданные при проектировании башни.

В практике строительства водонапорных башен размеры W и H меняются в широких пределах. Емкость бака колеблется от нескольких десятков кубических метров в малых водопроводах до нескольких тысяч кубических метров в больших городских и промышленных водопроводах. В ряде зарубежных стран имеются примеры сооружения башен с баками весьма большой емкости. Высота башни (точнее, высота поддерживающей конструкции) обычно лежит в пределах 15—30 м (и в редких случаях превосходит 30 м).

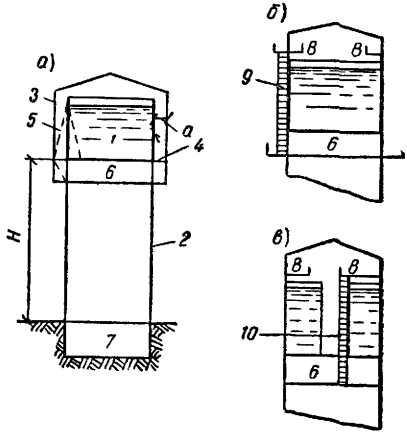


Рис. VI.1

Баки в большинстве случаев устраивают круглой формы в плане. Соотношение высоты и диаметра бака диктуется как технологическими, так и архитектурно-строительными соображениями. Большая высота бака нежелательна, так как вызывает увеличение высоты подъема воды, а также значительные колебания напоров в системе. Водонапорная башня, особенно в городских водопроводах, должна удовлетворять эстетическим требованиям, которые предъявляются ко всем архитектурным сооружениям. Некрасиво выполненная башня может нарушить гармоничность всего архитектурного ансамбля того района, где она расположена.

Наконец, при выполнении баков из того или иного материала следует учитывать требования технико-экономического порядка, определяющие наиболее экономичные решения конструкции при данном материале и заданных высоте и емкости.

В некоторых случаях (например, на промышленных предприятиях при наличии двух или нескольких сетей разного напора) устраивают башни с двумя и более баками, расположенными на разной высоте.

Иногда бак водонапорной башни окружают шатром 3 (рис. VI.1, а) для предохранения воды от замерзания и частично от засорения. Шатры делают облегченной конструкции железобетонными или деревянными — в зависимости от типа и конструкции башни. Расстояние *а* между стенками бака и шатра должно быть не менее 0,7—0,8 м. В шатре вокруг бака устраивают легкое перекрытие *4* и устанавливают металлическую лестницу *5* для входа в бак. В шатер входят из подбаковой камеры *6*, устраиваемой в верхней части поддерживающей конструкции башни. При благоприятных климатических условиях в устройстве шатра нет необходимости.

Исследования, проведенные в последние годы, показали, что даже

в относительно суровых климатических условиях вполне можно обойтись без устройства шатра, если обеспечивается достаточный обмен воды в баке. При использовании подземных вод (имеющих обычно постоянную температуру около 8—9° С), как правило, можно обойтись без шатра. В новых башнях большой емкости шатры обычно отсутствуют.

Башня, как правило, имеет подвальное помещение *7*, в котором располагаются задвижки на водопроводных трубах.

В бесшатровых башнях (рис. VI.1, *б* и *в*) над баком устраивают кровлю и кольцевой балкон *8*. Вход в бак из подбаковой камеры *6* возможен или по внешней лестнице *9* (рис. VI.1, *б*) или через внутренний цилиндрический лаз *10* в центральной части бака (рис. VI. 1, *в*). В последнем случае усложняется конструкция бака, но улучшаются условия его обслуживания.

Поддерживающие конструкции водонапорных башен выполняются из различных материалов (сталь, железобетон, кирпич, дерево) в виде системы колонн (или стоек) или несущей стенки; они весьма разнообразны и имеют различное архитектурное оформление.

В современной водопроводной практике наиболее широкое распространение имеют железобетонные башни с железобетонными баками. В некоторых странах (например, в США) преимущественно используются стальные башни при широком диапазоне размеров емкости и высоты. В прошлые годы было построено много башен с каменной (в основном кирпичной) поддерживающей конструкцией и со стальными (иногда железобетонными) баками. Наконец, во временных и мелких системах сельскохозяйственного водоснабжения с малым расходом воды применяют иногда деревянные поддерживающие конструкции с металлическими баками.

При устройстве поддерживающей конструкции в виде сплошных несущих стенок (железобетонных, кирпичных), а также при заполнении стенками пространства между несущими колоннами образуется закрытое помещение часто весьма значительного объема. Вопрос о рациональном использовании этого помещения представляет несомненный интерес. При его решении следует прежде всего иметь в виду необходимость защиты воды, хранящейся в баке, от каких-либо загрязнений или заражений. По санитарным соображениям доступ к баку посторонних лиц должен быть категорически воспрещен. Пространство, расположенное ниже подбаковой камеры, может быть использовано для служебных и конторских помещений водопроводного хозяйства, складов и т. д. По такому пути обычно идет решение этого вопроса в нашей стране. В зарубежной практике есть примеры расположения в помещениях башни (предусмотренного при ее проектировании) ресторанов, отелей и т. п.

Водонапорные башни в соответствии с их назначением должны быть оборудованы трубами и арматурой. Устройство подающих и отводящих воду труб возможно по одной из схем, приведенных на рис. VI.2.

По схеме, приведенной на рис. VI. 2, *а*, устраивают одну общую подающе-отводящую трубу *1*, рассчитанную на подачу (в бак или из бака) воды в количестве, равном разности количества воды, подаваемой насосами и расходуемой потребителями. Конец этой трубы располагают у низа бака на высоте, предотвращающей засасывание в трубу ила, который может периодически скапливаться в самых низких точках бака. Эта схема может быть применена при расположении башни в любой точке сети (в некоторых случаях, например, когда башня работает как контррезервуар, труба *2* отсутствует). При такой схеме получается наименьшая стоимость труб, которыми оборудуется башня, и достигается некоторое сокращение расхода энергии на подъем воды, так как сниже-

ние уровня воды в баке (с высоты H_1 до высоты H_2) обусловливает соответствующее снижение рабочего напора насосов.

По схеме, приведенной на рис. VI.2 *б*, башня оборудуется двумя трубами: подающей *1* и отводящей *2*, между которыми может быть устроено (в подвале) аварийное переключение. Такая схема может быть применена только при расположении башни в начале сети. Здесь вся вода, подаваемая насосами, проходит через бак, и насосы всегда работают с напором, соответствующим наивысшему положению уровня воды в баке H_1, что вызывает увеличение напора насосов и расхода энергии на

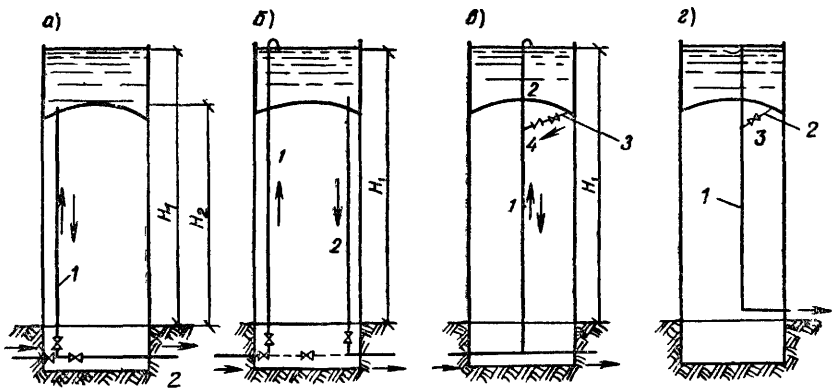


Рис. VI.2

подачу воды. По этой схеме у нас осуществлено оборудование ряда ранее построенных башен, но для вновь сооружаемых башен она не может быть рекомендована.

На рис. VI.2,*в* показано некоторое компромиссное решение, предусматривающее устройство единой подающе-отводящей трубы *1* с разделением ее у бака на подающую *2* и отводящую *3*. На последней установлен обратный клапан *4*, препятствующий поступлению по ней воды в бак. Эта схема позволяет осуществлять постоянное перемешивание воды в баке; перемешивание воды способствует сохранению ее свежести и препятствует ее замерзанию зимой. По этой схеме, так же как и по схеме, показанной на рис. VI.2, *б*, насосы всегда должны иметь напор, соответствующий наивысшему уровню воды в баке башни.

Разновидностью этой схемы является схема (принятая в типовых проектах Союзводоканалпроекта), при которой подающая труба *2* не доводится до верха бака. Это дает возможность несколько сократить перерасход энергии на подачу воды (имеющий место при схеме на рис. VI.2, *в*) и осуществить частичное перемешивание воды в баке.

Кроме основных подающих и отводящих труб башня должна быть оборудована переливной *1* и спускной *2* трубами (рис. VI.2, *г*). Переливную трубу доводят до наибольшего допустимого уровня воды в баке, чем обеспечивается автоматический отвод воды из бака при его переполнении[1]. Отводимая вода сбрасывается в водосток. Диаметр переливной трубы рассчитывается на отвод всей подаваемой насосами воды. Эта труба заканчивается вверху воронкой, диаметр входа в которую примерно в два раза превышает диаметр трубы. К переливной трубе присоединяется спускная труба *2*, идущая от наинизшей точки бака и позво-

[1] Во избежание переполнения бака при небольших диаметрах подающей трубы на ней иногда устанавливают поплавковые клапаны.

ляющая опорожнять его (открывая задвижку *3*) при ремонте или промывке.

Для оборудования башни применяют обычно стальные трубы. На вертикальных трубах устанавливают сальниковые компенсаторы для восприятия температурных изменений длины труб.

Если поддерживающая конструкция башни выполнена в виде системы колонн без устройства между ними стенового заполнения, трубы в целях утепления приходится помещать в специальной вертикальной цилиндрической шахте.

Башня оборудуется сигнализационными устройствами, передающими показания об уровне воды в баке или сигналы при достижении уровнем критических (верхнего и нижнего) положений на насосную станцию или в какой-либо диспетчерский пункт водопроводного хозяйства.

§ 136. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

Железобетонные водонапорные башни имеют широкое распространение в нашей стране и за рубежом.

При малой и средней емкости баки железобетонных башен обычно имеют цилиндрическую форму с плоским или сферическим (вогнутым) днищем. В последние годы получают большее распространение железобетонные баки с плоским днищем, так как хотя применение сферических днищ и дает экономию материала, но вызывает удорожание строительных работ.

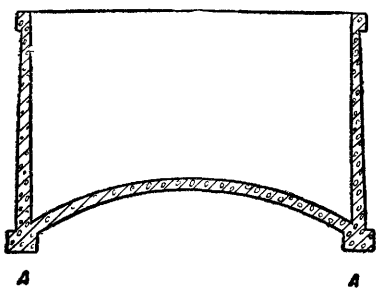


Рис. VI.3

Баки со сферическим днищем (рис. VI.3) опираются на кольцевую балку *A*, а последняя опирается на сплошную цилиндрическую стенку ствола башни или на систему вертикальных или наклонных колонн. В ряде случаев между колоннами устраивают один пояс или несколько поясов горизонтальных схваток.

На рис. VI.4 показана конструкция типовых железобетонных башен, разработанных институтом Союзводоканалпроект. Цилиндрический бак с плоским днищем располагается на поддерживающей конструкции в виде сплошной стенки, опирающейся на ленточный фундамент. Проектами предусмотрены башни высотой от 15 до 40 м с емкостью бака от 100 до 800 м^3. Преимуществом поддерживающей конструкции в виде сплошной цилиндрической стенки является возможность возведения ее в подвижной опалубке.

На рис. VI.5, *а* схематически показана конструкция железобетонной башни, имеющей бак со сферическим днищем. Бак опирается на сплошную цилиндрическую стенку.

На рис. VI.5, *б* показана железобетонная водонапорная башня с баком емкостью 500 м^3 в форме усеченного конуса (Социалистическая Республика Румыния). Поддерживающая конструкция выполнена в виде монолитного железобетонного цилиндра, построенного в подвижной опалубке. Высота башни до низа бака 24 м. Башня опирается на кольцевую железобетонную подушку, покоящуюся на бетонном блоке.

На рис. VI.6 показан типовой проект (ЦНИИЭП инженерного оборудования) башни, имеющей железобетонный ствол и стальной бак с коническим днищем; емкость бака предусматривается в диапазоне от 25 до 800 м^3. Подобный же проект разработан и для башни с кирпичным стволом.

В последнее время для водонапорных башен все шире применяется предварительно напряженный железобетон (в основном для баков). Применение предварительно напряженного железобетона увеличивает водонепроницаемость баков.

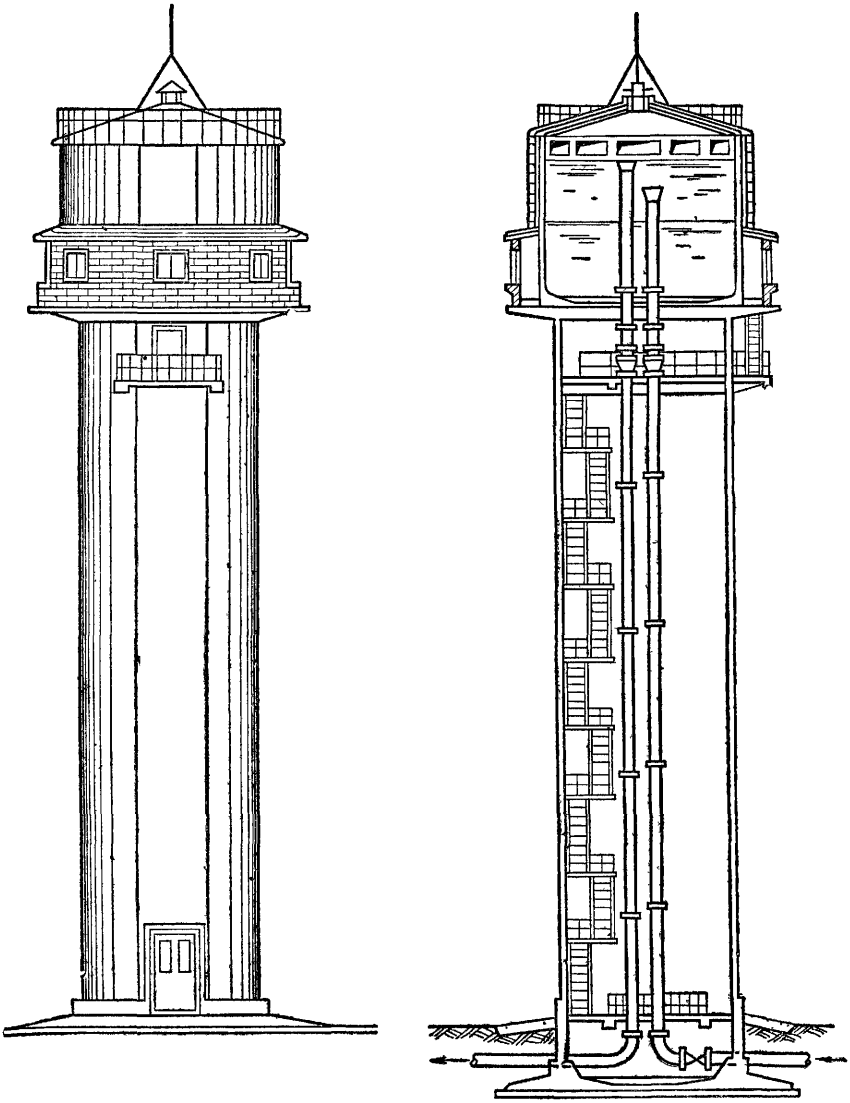


Рис. VI 4

На рис. VI.7 показана одна из таких башен, построенная в Швеции в 1960—1962 гг. (Фредриксдаль). Бак состоит из двух отделений суммарной емкостью 7600 м³ и опирается на восемь цилиндрических колонн. Бак был выполнен на поверхности земли и постепенно поднят на требуемую высоту домкратами при соответствующем наращивании колонн.

Имеются разновидности этой башни, где колонны заменены сплошной стенкой. Башня в этом случае получает вид громадного гриба.

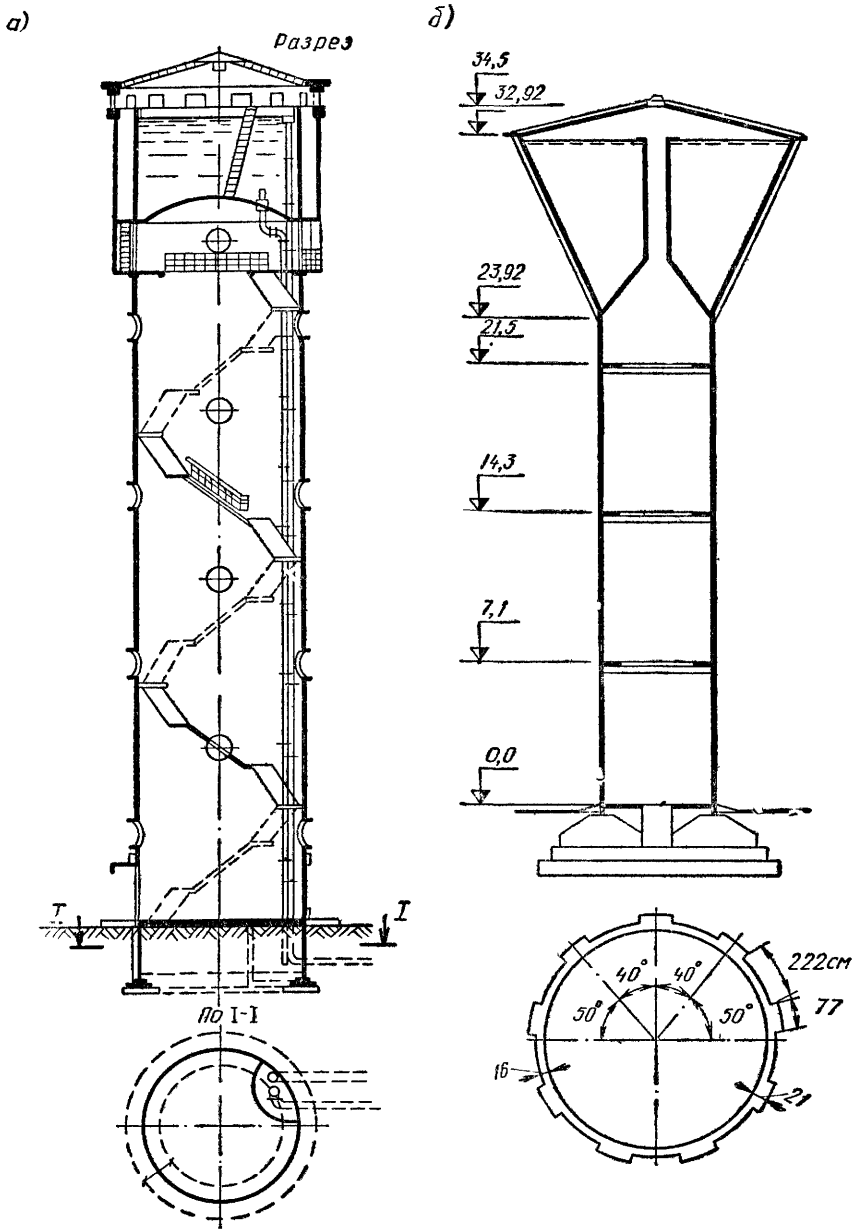
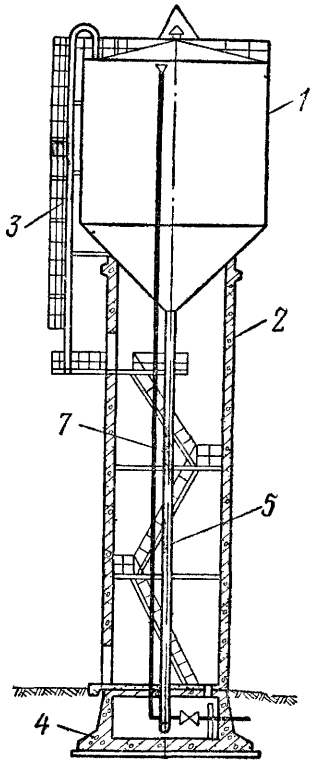

а)
Разрез
I
I
По I-I
б)
34,5
32,92
23,92
21,5
14,3
7,1
0,0
40°
40°
50°
50°
222см
77
16
21

Рис. VI.5



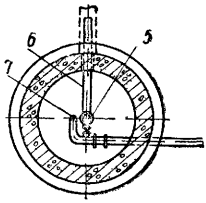
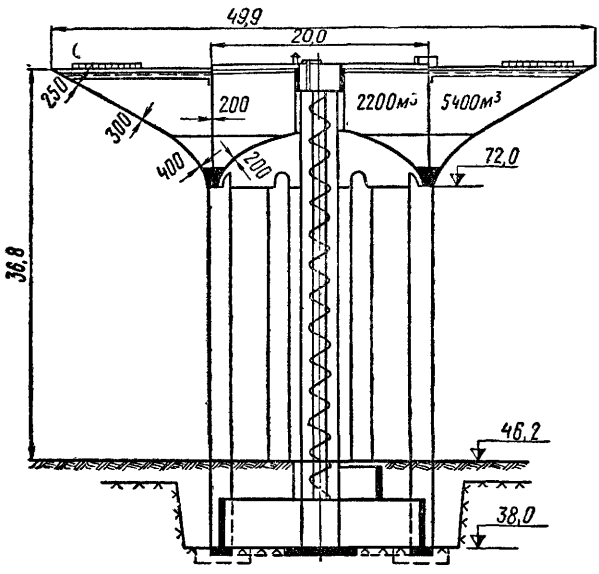


Рис. VI 6

1 — стальной бак; *2* — железобетонный ствол, *3* — стальные лестницы; *4* — фундамент, *5* — напорно-разводящий стояк; *6* — напорно разводящая труба, *7* — переливная труба



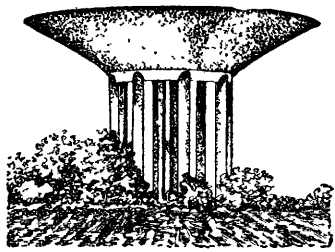


Рис. VI.7

§ 137. СТАЛЬНЫЕ ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

Стальные башни как в нашей стране, так и за рубежом получили меньшее распространение по сравнению с железобетонными. Исключение составляют США.

К достоинствам стальных башен могут быть отнесены полная водонепроницаемость баков, малый вес, заводское изготовление деталей, обеспечивающее относительно быстрый монтаж их на месте строительства, а также большая сейсмостойкость.

К существенным недостаткам стальных башен относятся подверженность их коррозии и трудность защиты от нее, а также сложность термоизоляции.

Внедрение в практику строительства предварительно напряженного железобетона в еще большей степени способствует распространению железобетонных башен вместо стальных.

В нашей стране небольшие стальные башни используются в сельскохозяйственном водоснабжении.

Из построенных ранее и находящихся в эксплуатации стальных башен можно назвать два наиболее часто применявшихся типа: 1) башня со стальным цилиндрическим баком с плоским днищем, установленным на стальных наклонных колоннах (рис. VI.8); 2) башня системы В. Г. Шухова (рис. VI.9). Ствол башни представляет собой решетчатую пространственную конструкцию, имеющую форму однополостного гиперболоида; прямоугольные образующие, выполненные из стальных уголков, перехватываются горизонтальными поясами.

Исключительно широкое распространение получили стальные башни в США. Большое многообразие форм и конструкций таких башен можно разбить на четыре основных типа:

1) цилиндрический бак с полусферическим днищем (и обычно с конической крышей), опирающийся на колонны;

2) бак с полуэллипсоидальным днищем и эллипсоидальной (иногда конической) крышей, опирающийся при помощи опорного кольца на систему колонн (рис. VI.10, *а*);

3) бак с радиально-коническим днищем, которое покоится на системе балок, опирающихся на центральную шахту и систему колонн; секторы днища между балками имеют подобие конических поверхностей и приварены к балкам и стенкам бака;

4) бак с торроидальным днищем (комбинация эллипсоидального днища с плоским), опирающимся на два пояса колонн и центральную шахту или трубу (рис VI.10, *б*); используется для весьма больших емкостей (до 12—15 тыс. м^3); отдельные башни этого типа имеют баки еще большей емкости.

Кроме того, применяются баки сферической, грушевидной формы и др.

Шатров американские башни, как правило, не имеют.

Для поддерживающих конструкций башен описанных типов кроме стали различных профилей широко применяют стальные элементы трубчатой формы, связываемые вантовыми затяжками.

§ 138. КИРПИЧНЫЕ И ДЕРЕВЯННЫЕ ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

Эти башни имеют значительно меньшее применение в современной мировой практике по сравнению с железобетонными и стальными.

Кирпичные башни со стальными баками с плоским (иногда с выпуклым сферическим) днищем имели в прошлые годы значительное распространение, особенно в железнодорожном водоснабжении. Сохранились старые кирпичные башни также в ряде городов и производственных предприятий.

Кирпичные башни строят там, где по местным условиям применение кирпича оказывается экономичнее, чем применение железобетона. Обычно это имеет место при относительно небольшой высоте башни.

На кирпичных башнях устанавливают металлические баки с плоским днищем и иногда железобетонные баки.

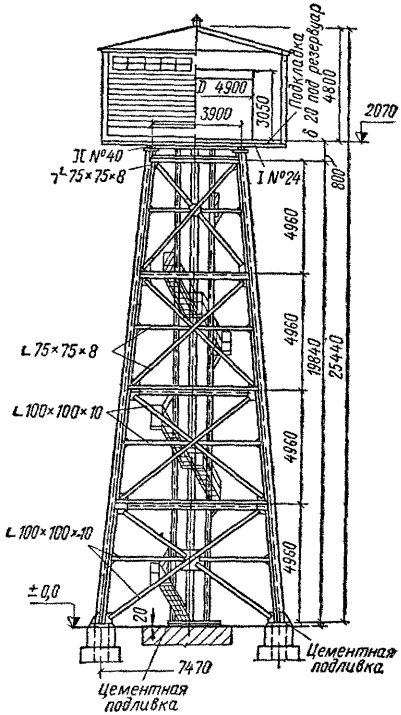


Рис VI 8

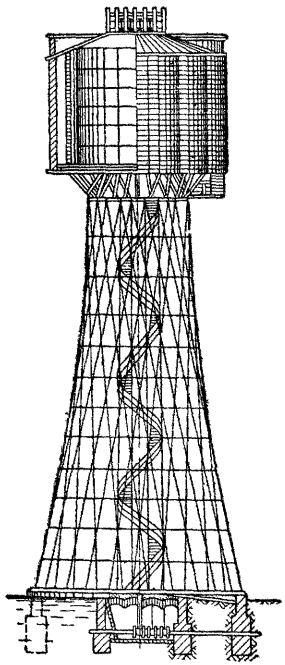


Рис VI 9

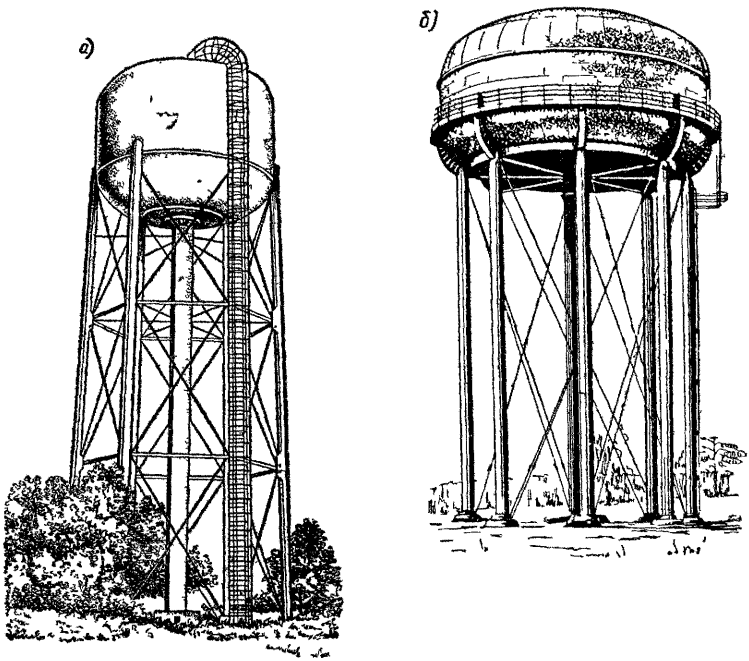


Рис. VI.10

Деревянные водонапорные башни находят применение во временных водопроводах, а также в небольших водопроводах колхозов и совхозов (в местах, богатых лесом). Эти башни можно применять лишь при небольших требуемых высоте и емкости. На деревянных башнях устанавливают стальные баки с плоским днищем.

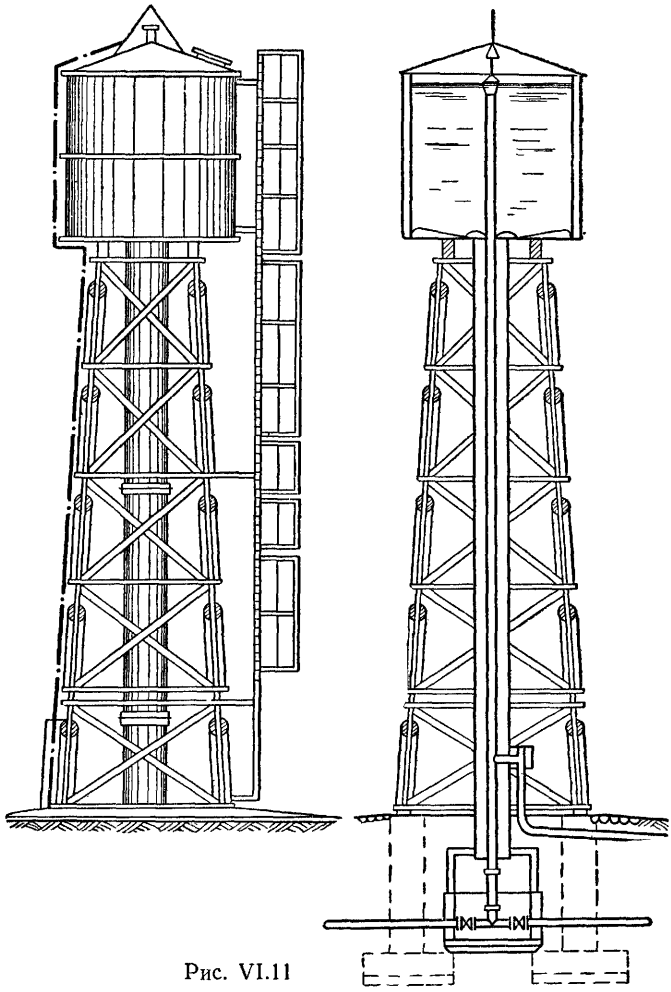


Рис. VI.11

На рис. VI.11 показана конструкция деревянной водонапорной башни по одному из типовых проектов Гипросельхоза.

В целях увеличения срока службы и предохранения от пожара отдельные детали деревянных башен пропитывают антисептическими растворами и покрывают огнестойкими красками.

§ 139. ВОДОНАПОРНЫЕ КОЛОННЫ

Водонапорная колонна представляет собой резервуар, установленный на поверхности земли и имеющий высоту, соответствующую требуемой высоте водонапорной башни. При нормальном режиме работы водопровода может быть использована лишь верхняя часть объема колон-

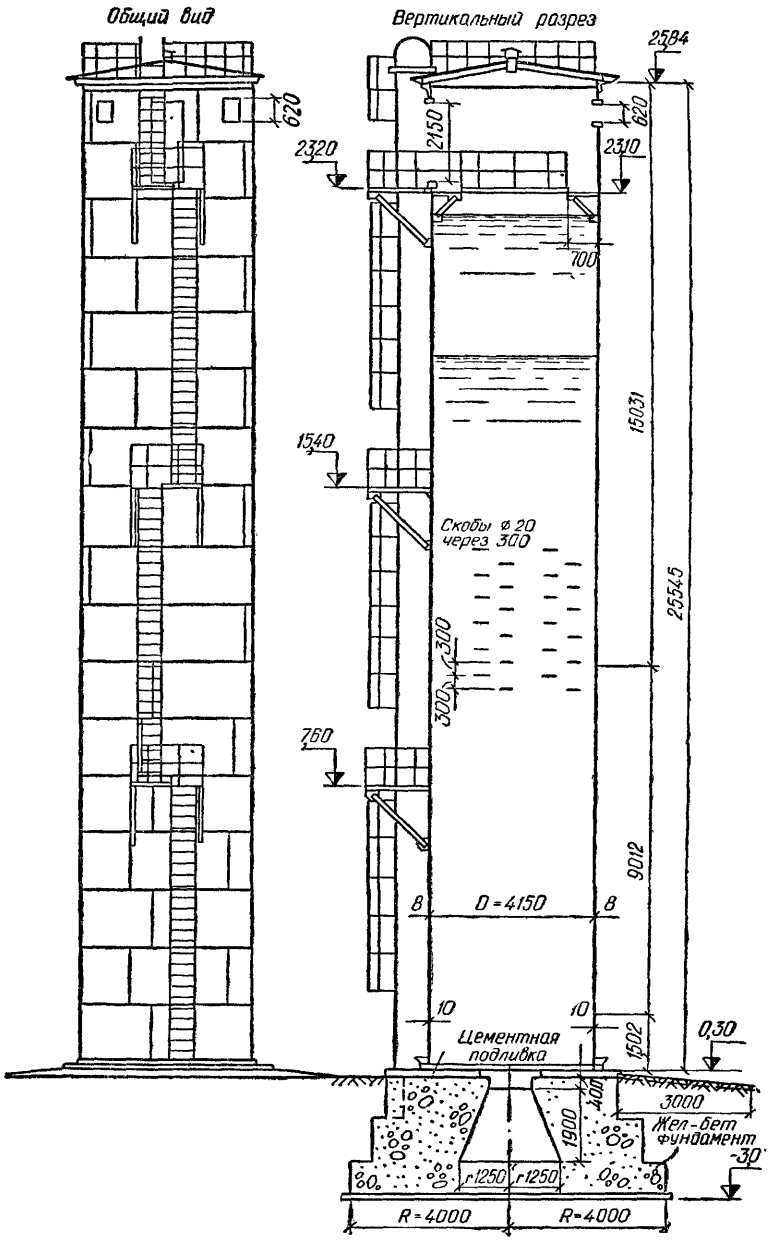

Общий вид
Вертикальный разрез
2584
620
2150
620
2320
2310
700
15031
1540
Скобы ф 20
через 300
2554.5
300
300
760
9012
8
D=4150
8
10
10
1502
0,30
Цементная подливка
3000
400
1900
Жел-бет фундамент
-3р
r1250
r1250
R=4000
R=4000

Рис. VI.12

ны, расположенная на высоте, соответствующей требуемым свободным напорам в водопроводной сети. Нижняя часть объема колонны служит для хранения аварийного запаса воды.

Водонапорные колонны целесообразно применять в тех случаях, когда при использовании аварийного запаса (т. е. при аварийном режиме работы водопровода) допускается значительное снижение требуемых напоров. Это, в частности, имеет место в системах производственного водоснабжения металлургических заводов. Здесь при аварийном режиме требуется обеспечивать подачу воды к наиболее ответственным холодильникам, что позволяет значительно снизить напор по сравнению с требуемым в условиях нормальной эксплуатации. Указанное обстоятельство и обусловило применение водонапорных колонн в системах водоснабжения металлургических заводов.

Водонапорные колонны в нашей стране и за рубежом (в частности, в США, где они имеют большое распространение) выполняют преимущественно из стали. Имеются примеры устройства железобетонных водонапорных колонн.

На рис. VI.12 приведен пример стальной водонапорной колонны небольшой емкости (около 300 м^3). Колонна опирается на железобетонный фундамент и имеет легкое деревянное перекрытие. Для доступа в верхнюю часть колонны служит наружная стальная лестница.

К недостаткам водонапорных колонн может быть отнесена возможность застоя воды в них и, следовательно, ухудшение качества воды. Однако это обстоятельство имеет существенное значение лишь в хозяйственно-питьевых водопроводах.

Глава 27

РЕЗЕРВУАРЫ

§ 140. ТИПЫ РЕЗЕРВУАРОВ

Как было сказано ранее, резервуары, располагаемые на достаточно высоких отметках местности, могут служить напорными (активными) емкостями, аналогичными по своему назначению водонапорным башням. Так как при одной и той же емкости резервуар всегда значительно дешевле башни, напорные емкости следует устраивать в виде «нагорных» резервуаров везде, где это позволяет рельеф местности. Напорные резервуары наиболее часто используются в системах водоснабжения как регулирующие емкости, но нередко служат одновременно и для хранения запасов воды — пожарных или аварийных.

Вторым типом резервуаров являются безнапорные (пассивные), т. е. такие, из которых вода может поступать в систему лишь путем перекачки ее насосами. Такие резервуары используют весьма часто как регулирующие емкости при очистных сооружениях городских водопроводов (резервуары чистой воды), а также в качестве запасных емкостей (пожарных и аварийных).

Назначение резервуаров в системе отражается в основном на схеме их оборудования трубами и арматурой, а не на их конструкции.

Конструктивное оформление резервуаров весьма разнообразно. В более старых системах водоснабжения строились (и до сего времени работают) кирпичные[1] резервуары, а также резервуары из бутового кам-

[1] При строительстве первой очереди московского водопровода были сооружены кирпичные резервуары на Ленинских горах (Воробьевские резервуары), емкость которых к 1912 г. составила 160 тыс. м^3.

ня. В современных системах водоснабжения преимущественное распространение получили железобетонные резервуары самых различных форм, конструкций и методов изготовления. Стальные резервуары, устраиваемые наподобие нефтяных цистерн, имеют некоторое применение главным образом в США. Они рассчитываются на различные емкости и строятся в виде вертикальных цилиндров различного диаметра и высоты, иногда с железобетонным или бетонным днищем. Трудность и большая стоимость защиты стальных резервуаров от коррозии, а также их термической изоляции являются существенным препятствием к их широкому применению.

Заслуживают внимания резервуары, выполняемые в виде копаных в земле водоемов (с различного рода одеждой), используемых в качестве запасных емкостей. Эти водоемы строят обычно открытыми.

В соответствии с требованиями строительных норм пожарный запас воды, превышающий 1000 м³, должен быть разделен между двумя резервуарами. В крупных установках (независимо от сказанного) устраивают несколько резервуаров, дающих в сумме расчетную емкость. Это обеспечивает бесперебойность работы системы, возможность выключения на ремонт отдельных резервуаров, а также выполнение строительства по очередям.

§ 141. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Железобетонные резервуары в настоящее время получили наиболее широкое распространение в мировой практике водопроводного строительства. Формы и конструкции железобетонных резервуаров весьма разнообразны.

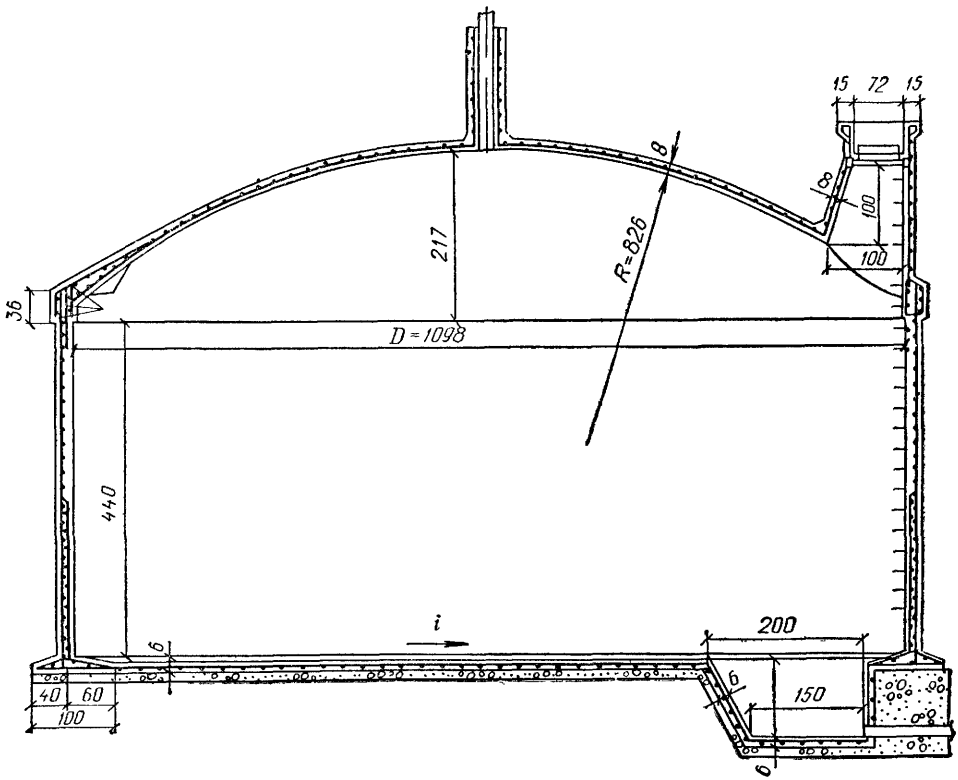


Рис. VI.13

Большое распространение имели резервуары цилиндрической формы с купольными перекрытиями. У нас эти резервуары рекомендовались для относительно небольших емкостей (до 600 м³). Устройство такого резервуара емкостью 400 м³ (по одному из типовых проектов) показано на рис. VI.13. Резервуар этого типа заглубляют в землю примерно до половины высоты цилиндрической части с обсыпкой в целях теплоизоляции верхней части и перекрытия землей толщиной около 1 м. Дно резервуара имеет некоторый уклон к приямку. В последнем располагают концы приемных труб (на рис. VI.13 не показаны) с таким расчетом, чтобы могла быть использована вся емкость резервуара. Кроме того, через приямок может быть осуществлено удаление осадков, которые постепенно накапливаются в резервуаре. При емкости более 600 м³ эти резервуары рекомендовалось устраивать с плоским перекрытием.

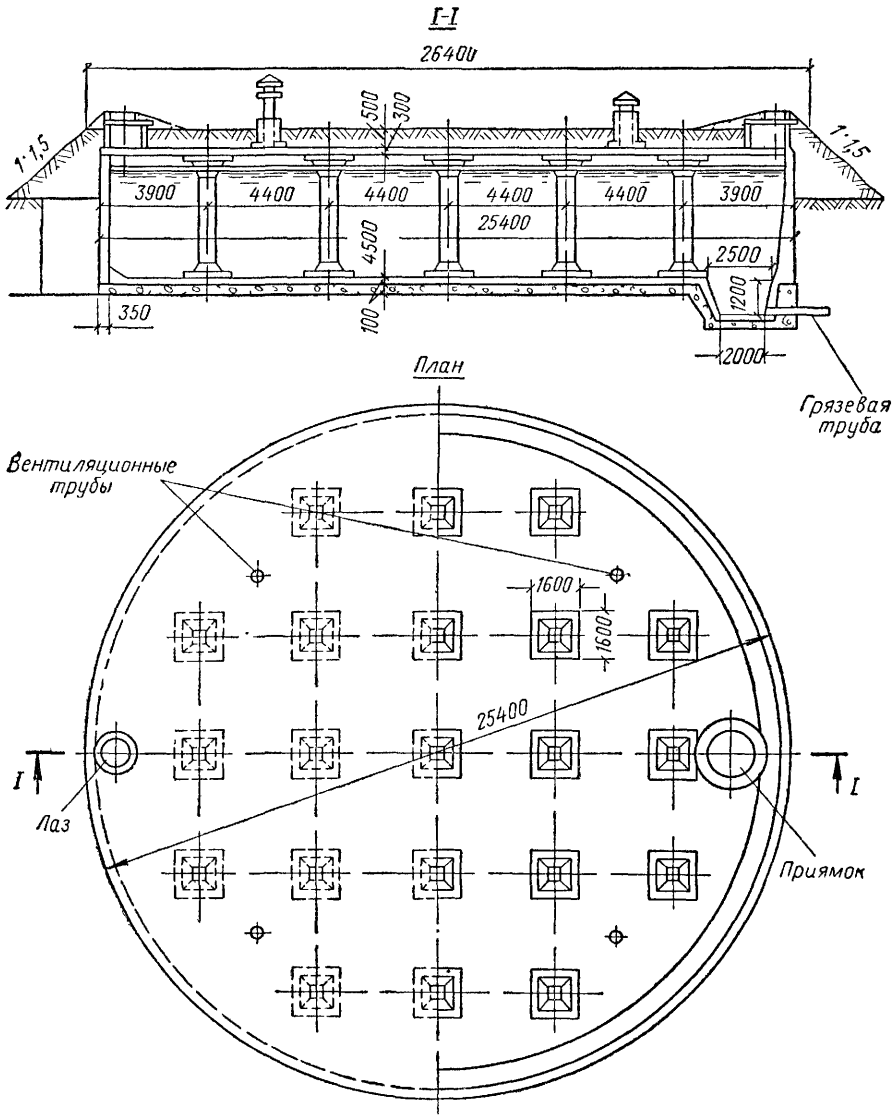


Рис. VI.14

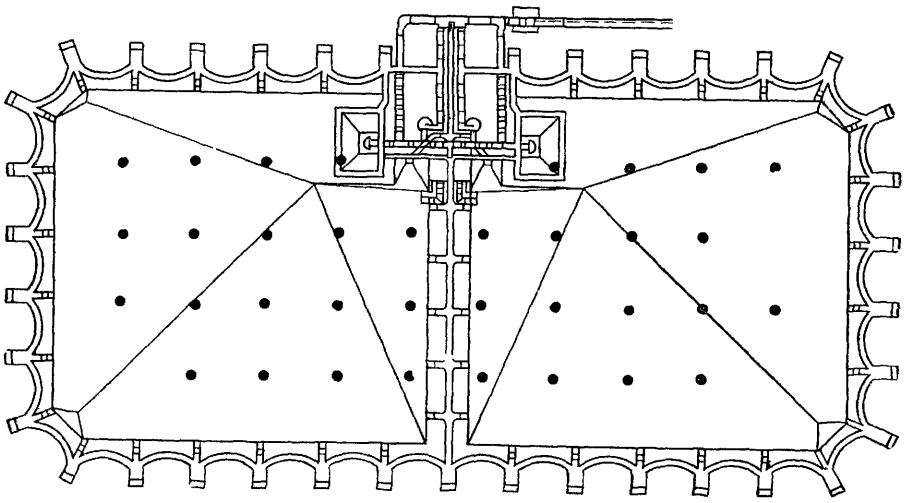


Рис VI.15

В последнее время считается более экономичным устройство плоского безбалочного перекрытия для цилиндрических резервуаров всех размеров. Устройство типового резервуара с плоским перекрытием показано на рис. VI.14. Такие резервуары имеют емкость от 50 до 2000 м³, диаметр от 4,7 до 25,4 м и высоту от 3,5 до 4,5 м. Перекрытие (при емкости более 50 м³) поддерживается колоннами (от одной колонны при емкости резервуара 100 м³ до 21 колонны при емкости 2000 м³). При емкости более 2000 м³ считается более экономичным применение резервуаров прямоугольной в плане формы с плоскими балочными или безбалочными перекрытиями.

Стремясь найти более экономичные конструкции резервуаров, им придают в мировой практике весьма разнообразные конструктивные формы. Так, в одном из построенных в Швеции в последние годы резервуаров (рис. VI.15) стенки имеют «многоарочную» конструкцию, позволяющую хорошо воспринимать усадочные и температурные напряжения. Аналогичная конструкция принимается для резервуаров круглой в плане формы — в виде многоволновой цилиндрической оболочки. Находят также применение прямоугольные в плане резервуары с перекрытием в виде цилиндрических сводов.

В современной практике строительства резервуаров с большим успехом используют предварительно напряженный железобетон. Основным недостатком обычного железобетона является то, что он, обладая достаточной прочностью, не обеспечивает требуемой герметичности резервуаров. Наличие арматуры не допускает образования значительных трещин в бетоне, но не может воспрепятствовать образованию волосных трещин, ведущих к нарушению герметичности. Предварительное напряжение бетона создает в нем сжимающие усилия, что обеспечивает герметичность резервуаров при любых эксплуатационных нагрузках на сооружения. Кроме того, применение предварительно напряженного железобетона дает экономию в затрате материалов. Резервуары из предварительно напряженного железобетона были запроектированы и построены в ряде стран.

Наиболее подходящими для применения предварительно напряженного железобетона являются цилиндрические резервуары. Предвари-

тельно напряженный бетон применяют и при устройстве резервуаров прямоугольной формы в плане

В строительстве резервуаров все большее применение находит сборный железобетон. В качестве готовых деталей используются колонны, балки, плиты, а также панели различных конструкций, составляющие стенки резервуаров.

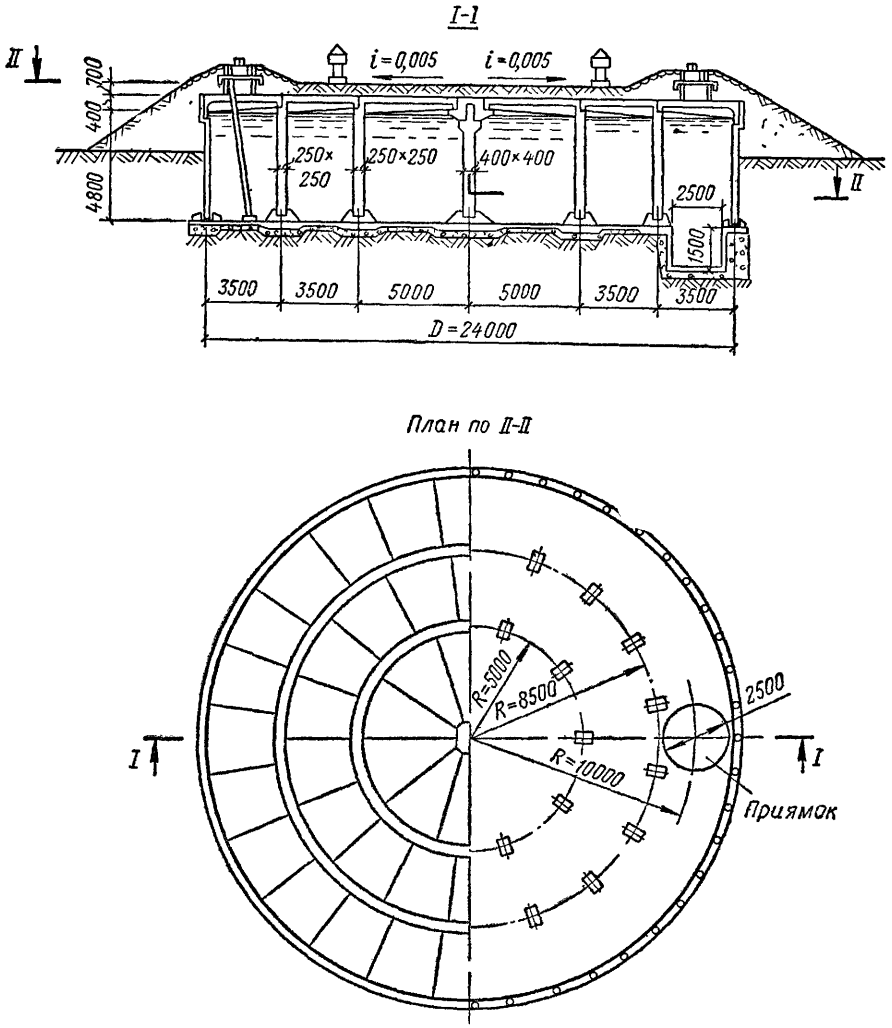


Рис VI 16

На рис. VI 16 показана конструкция типового сборного железобетонного резервуара. Этот резервуар запроектирован на те же емкости, что и типовой резервуар из монолитного железобетона, т. е. от 50 до 2000 м³. Резервуар имеет плоское днище из монолитного железобетона. Стенки его монтируются из ребристых панелей размером 0,8×3,5 м и толщиной 6 см при емкости резервуара до 500 м³ и размером 1,3×4,5 м и толщиной 12 см при емкости резервуара 600 м³ и более. Панели соединяются путем сварки выпущенных из них стальных листов. Перекрытие резервуара собирается из плоских радиальных плит треугольной

или трапецеидальной формы, опирающихся на стенку резервуара и центральную колонну (для малых резервуаров) или систему концентрически расположенных рядов колонн. В последнем случае по колоннам под плиты укладывается кольцевая балка. На рис. VI.16 показан резервуар емкостью 2000 м³.

В последних типовых проектах резервуаров предусматривается изготовление их из унифицированных элементов (колонн, панелей стен и плит перекрытий), пригодных для резервуаров нескольких различных емкостей.

§ 142. ОБОРУДОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРОВ

Схема коммуникаций, присоединяемых к резервуару, и оборудование резервуара трубами и арматурой зависят от его назначения и места расположения в системе водоснабжения.

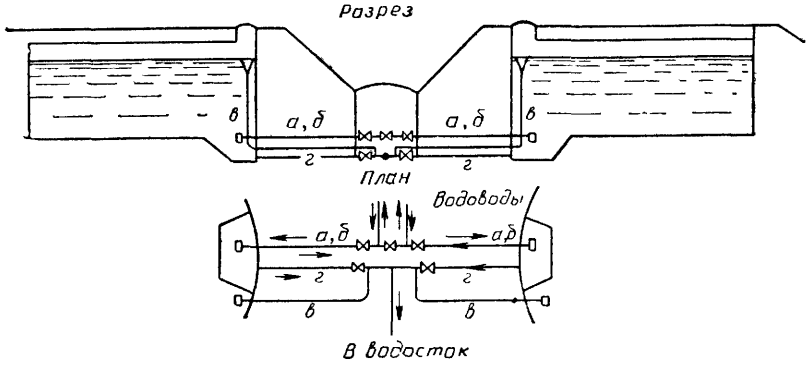


Рис. VI.17

В целях обеспечения бесперебойной работы системы водоснабжения обычно устраивают не менее двух резервуаров (или двух изолированных отделений), хотя это и усложняет схему коммуникаций.

Когда резервуар является напорно-регулирующей емкостью, его оборудование трубами и арматурой аналогично оборудованию водонапорных башен.

На рис. VI.17 схематически показано оборудование двух напорных резервуаров, расположенных в противоположном от насосной станции конце сети (контррезервуары). Между резервуарами устроен колодец для возможности управления задвижками и осуществления различных комбинаций и переключений между резервуарами и водоводами. Резервуары оборудованы следующими трубами: подающе-отводящей линией *а*, *б*, оканчивающейся в приямке на высоте, которая обеспечивает возможность использования всей емкости резервуара; переливной трубой *в*, предотвращающей переполнение резервуара, она присоединена к водостоку; спускной (грязевой) трубой *г*, идущей от низа приямка и присоединяемой через задвижку к переливной трубе. Спускная труба позволяет удалять из приямка накапливающийся со временем ил, а также (в случае необходимости) полностью опорожнять резервуар. Недостатком приведенной схемы присоединений является то, что она не обеспечивает надлежащей циркуляции воды в резервуаре и ее освежения, что может привести к ухудшению ее качества (при относительно малом обмене).

На рис. VI.18 дана иная схема присоединения резервуара к водоводу, где (подобно тому, как это делается иногда в водонапорных баш-

нях) подающая труба устраивается отдельно от отводящей и заканчивается у верхнего уровня воды в противоположной от места забора воды стороне резервуара (труба *а*). Отвод воды осуществляется по трубе *б*, оканчивающейся в приямке и присоединяемой к водоводу через обратный клапан. Такая система позволяет производить постоянное освежение воды в резервуаре, хотя и вызывает необходимость подавать воду все время под напором, соответствующим отметке верха подающей трубы. Переливная труба *в* и спускная труба *г* расположены так же, как и в предыдущей схеме.

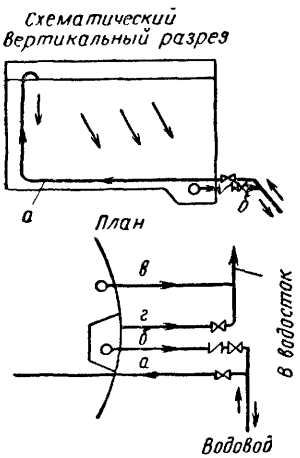


Рис. VI.18

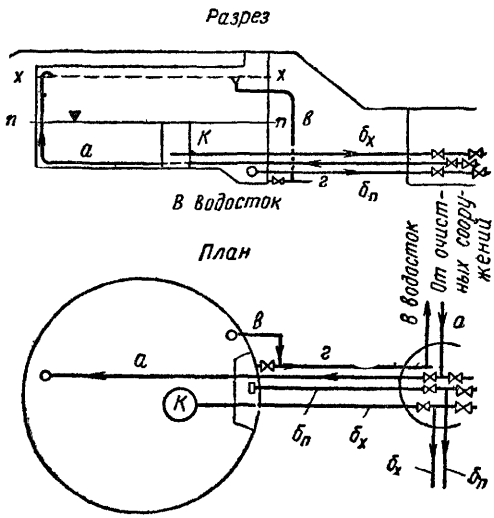


Рис. VI.19

Если напорные резервуары располагаются перед сетью, то схема коммуникаций отличается от приведенной выше только тем, что резервуары присоединяются к водоводам при помощи ответвлений.

На рис. VI.19 показана схема коммуникаций для резервуара, расположенного при очистной станции (так называемого резервуара чистой воды). Полная емкость резервуара разделяется на регулирующую (от уровня *хх* до уровня *пп*) и запасную — пожарную (от уровня *пп* до дна). Вода подается от очистных сооружений по трубе *а*, оканчивающейся у верхнего уровня воды в удаленной от места забора воды стороне резервуара. Всасывающие трубы пожарных насосов $б_п$ оканчиваются на отметке дна резервуара и могут израсходовать весь пожарный запас. Всасывающие трубы хозяйственных насосов $б_х$ оканчиваются на уровне *пп* и таким образом не могут (в случае недосмотра обслуживающего персонала) забирать воду, находящуюся ниже этого уровня, т. е. через них не может быть израсходован пожарный запас. С той же целью эти трубы могут быть введены у дна резервуара, но их концы помещены в открытый цилиндрический колодец *К*, верхняя кромка которого совпадает с уровнем *пп* (такое решение приведено на схеме рис. VI.19). Переливная труба *в* и спускная труба *г* располагаются так же, как и в предыдущих схемах.

Глава 28

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ВОДОНАПОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Существуют две принципиально различные системы пневматических установок — переменного давления и постоянного давления.

§ 143. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПЕРЕМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Пневматическая водонапорно-регулирующая установка переменного давления, заменяющая по своему назначению водонапорную башню, показана схематически на рис. VI.20. Два герметически закрытых стальных резервуара (или котла) *А* и *Б* соединены трубой *1*. Котел *А* при помощи трубы *2* присоединяется к водоводу *3*, подающему воду от насосной станции в водопроводную сеть. В те часы, когда подача насосов превышает потребление воды городом, избыточно подаваемое количество воды автоматически поступает по ответвлению *2* в котел *А*. Поступая в котел *А*, вода сжимает находящийся в нем воздух и перегоняет его постепенно в котел *Б*. Когда вода в котле *А* достигает наивысшего допустимого уровня, вход в трубу *1* закрывается автоматически действующим поплавковым клапаном; таким образом, вода из котла *А* не может поступать в котел *Б*. При полном наполнении котла *А* водой воздух в пневматической установке будет, очевидно, занимать наименьший объем $W_Б$; следовательно, давление в системе достигнет наибольшей величины $p_{макс}$. В часы, когда водопотребление будет превышать подачу воды насосами, вода по трубе *2* будет уходить из котла *А*; уровень воды в нем будет понижаться и давление в системе падать. Когда вода достигнет наинизшего допустимого уровня, другой автоматический поплавковый клапан закроет выход из котла *А* в трубу *2*, чтобы предотвратить попадание воздуха в сеть. Очевидно, к этому моменту воздух будет занимать в системе наибольший возможный объем $(W_А + W_Б)$ и соответственно этому установится наименьшее давление $p_{мин}$.

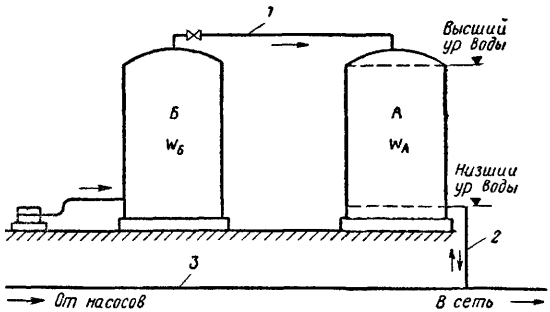


Рис VI 20

Регулирующая емкость, т е. емкость «водяного» котла $W_А$, определяется теми же методами, что и емкость бака водонапорной башни (путем совмещения графиков подачи и потребления).

В отличие от обычной системы водоснабжения с башней в пневматической системе, как мы видим, изменение степени наполнения водяного резервуара сопровождается значительным изменением давления (от $p_{мин}$ до $p_{макс}$).

По условиям работы сети давление в ней не должно падать ниже

некоторого расчетного значения, соответствующего при «башенном» водоснабжении расчетной высоте расположения над землей низа бака башни $H_б$. В пневматической системе этому значению будет соответствовать приведенная высота давления $p_{мин}$. При $p > p_{мин}$ пневматическая система будет работать под давлением выше требуемого. Это обстоятельство является основным органическим недостатком пневматических систем рассматриваемого типа, так как применение их требует (по сравнению с башенной системой) повышенных напоров на насосной станции, т. е. установки более мощных насосных агрегатов, вызывает перерасход электроэнергии при подаче воды и значительные колебания давлений во всей водопроводной сети.

При пневматических установках переменного давления насосы приходится подбирать исходя из условий работы в широком диапазоне колебаний напоров, вследствие чего насосы значительную часть времени работают при к. п. д., существенно отличающихся от оптимальных.

Для получения в системе требуемого давления, а также для периодического восполнения убыли воздуха (вследствие его утечки через неплотности, уноса с водой) обычно требуется установка компрессора *4* (см. рис. VI.20). Он работает всего один-два раза в неделю и короткие промежутки времени, поэтому расход энергии на его работу крайне незначителен.

Соотношение между емкостями водяного и воздушного котлов зависит от принятого при расчете диапазона колебаний давлений в системе. Если принять с известным приближением процесс изменения объема воздуха в системе изотермическим, можно, используя закон Бойля — Мариотта, написать соотношение

$$W_Б P_{макс} = (W_A + W_Б) P_{мин},$$

где $W_Б$ — наименьший объем, который может занимать воздух в системе, равный объему воздушного котла $Б$;

W_A — объем водяного котла A;

$W_A + W_Б$ — максимальный объем воздуха в системе, равный (с некоторым приближением) суммарному объему водяного и воздушного котлов;

$P_{макс}$ и $P_{мин}$ — соответственно наибольшее и наименьшее возможные значения абсолютных давлений в системе.

Введя в это выражение вместо абсолютных давлений избыточные (в кгс/см^2), получим

$$(p_{макс} + 1) W_Б = (p_{мин} + 1)(W_A + W_Б).$$

Отсюда

$$\frac{W_A + W_Б}{W_Б} = \frac{p_{макс} + 1}{p_{мин} + 1}.$$

Обозначив отношение абсолютного максимального давления к минимальному через ε, получим следующие основные соотношения между значениями давлений и объемов котлов в системе переменного давления:

$$P_{макс} = \varepsilon P_{мин}; \quad W_Б = \frac{1}{\varepsilon - 1} W_A,$$

или, обозначив для упрощения $1/(\varepsilon - 1)$ через β:

$$W_Б = \beta W_A.$$

Как сказано выше, значение $p_{мин}$ диктуется требованием обеспечения определенных напоров в сети, а значение W_A определяется в соответствии с принятыми режимами водопотребления и работы насосов; оба эти значения при расчете собственно пневматической установки являются фактически заданными.

Следовательно, основными расчетными величинами являются ε и β.

Нетрудно видеть, что значение ε может теоретически колебаться в пределах от 1 до ∞; при этом чем ближе ε к единице, тем меньше диапазон колебаний давлений и избыточный напор, создаваемый насосами, а также перерасход энергии при эксплуатации установки.

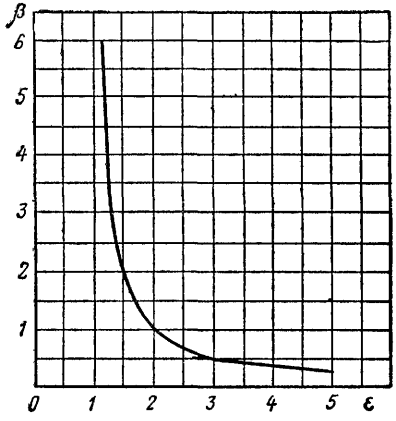


Рис. VI.21

Одновременно с уменьшением ε возрастает значение β (рис. VI.21), т. е. возрастает емкость воздушного котла $W_Б$ (при заданной величине W_A) и, следовательно, увеличивается строительная стоимость установки.

На основании технико-экономической оценки влияния значения ε на стоимость строительства и эксплуатации пневматических установок могут быть определены наивыгоднейшие значения ε. Они будут зависеть от ряда экономических факторов и, в частности, от стоимости электроэнергии. На основании опыта проектирования можно считать, что оптимальное значение ε лежит примерно в пределах 1,33—2, чему соответствуют значения β от 3 до 1.

Таким образом, экономически оправданная емкость воздушного котла (котлов) может превышать емкость водяного котла обычно не более чем в 3 раза.

Если в водяном котле хранится также пожарный или аварийный запас воды, то он должен быть учтен при определении требуемой емкости котлов для обеспечения требуемых давлений. Значения давлений должны быть проверены также на случай сработки пожарного или аварийного запаса.

§ 144. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ

В пневматических установках постоянного давления на трубе, соединяющей воздушный котел с водяным, ставят редукционный клапан. Этот клапан при понижении уровня воды в водяном котле пропускает в него воздух под постоянным заданным давлением. При подъеме уровня воды в водяном котле воздух из него выпускается через специальный предохранительный клапан, также отрегулированный на заданное давление. Таким образом, в водяном котле может поддерживаться постоянное давление, что обеспечивает возможность надлежащего подбора насосов и их работы при оптимальных значениях к. п. д.

Пневматические установки постоянного давления требуют непрерывной работы компрессора для восполнения сбросов воздуха при каждом наполнении водяного котла. Дополнительный расход энергии на работу компрессора в установках постоянного давления обычно превышает перерасход энергии, затрачиваемой на работу насосов под избы-

точными напорами в установках переменного давления. Установки постоянного давления менее экономичны и используются в тех случаях (относительно редких), когда колебание напора в сети не может быть допущено, например в некоторых системах производственного водоснабжения, где изменение напора воды вызывает недопустимые колебания расходов.

§ 145. КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Пневматические установки (имеются в виду установки переменного давления) имеют различное конструктивное оформление.

Как водяные, так и воздушные котлы пневматических установок представляют собой сварные стальные цилиндры со стальными эллип-

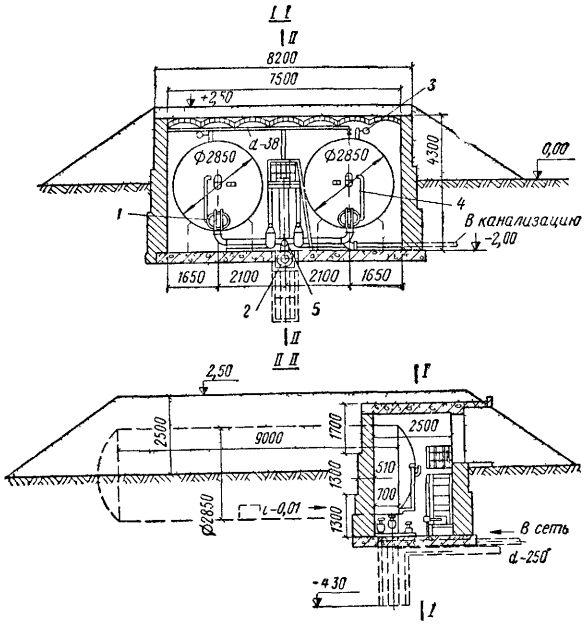


Рис VI 22

1 — люк (400×300 мм), *2* — подводящая и разводящая труба диаметром 250 мм, *3* — предохранительный клапан на 8 кгс/см², *4* — водомерное стекло, *5* — поплавковый предохранительный клапан

соидальными днищами. Применяют как вертикальное, так и горизонтальное расположение котлов. Диаметр их обычно не превышает 3 м. Как следует из сказанного выше, число воздушных котлов обычно больше числа водяных.

Пневматические котлы и компрессор устанавливают иногда в специальном здании, а иногда в общем здании с насосной станцией.

В. И. Павловым была предложена весьма удобная схема установки с горизонтальными котлами, расположенными под землей. Такая установка, состоящая из двух котлов, представлена на рис. VI 22. Величину заглубления котлов принимают из такого расчета, чтобы объем вынутого грунта был равен объему земли для засыпки, т. е чтобы объем земляных работ был минимальным. В целях облегчения веса засыпки для нее

целесообразно применять легкие и малотеплопроводные материалы (сухой торф, инфузорную землю, шлак и т. п.).

Пневматические установки и в нашей, и в зарубежной практике не получили широкого распространения. По строительной стоимости и по эксплуатационным расходам они в большинстве случаев менее выгодны, чем башни, и в этом отношении могут конкурировать с башнями лишь при относительно малом водопотреблении и значительных расчетных напорах.

Следует отметить, что автоматизация работы пневматических установок может значительно расширить пределы их применения, так как позволяет значительно снизить расход энергии благодаря последовательному пуску и выключению насосов через относительно короткие периоды времени.

Автоматизированные пневматические установки имеют некоторое применение в малых поселковых водопроводах (в частности в системах сельскохозяйственного водоснабжения).

В НИИ сантехники разработаны и в настоящее время изготовляются промышленностью автоматические водоподъемные установки с одним водовоздушным баком. Установки комплектуются с погружными, центробежными (вихревыми) или водоструйными насосами. Пополнение воздуха производится бескомпрессорным способом при помощи специальных автоматически действующих приспособлений. Производительность установок до 15 м^3/ч. Частота включений в зависимости от мощности и типа электродвигателя насоса 6—12 в 1 ч.

Глава 29

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ НА НУЖДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Обеспечение водой промышленных предприятий является одной из важных народнохозяйственных задач. В подавляющем большинстве отраслей промышленности вода используется в технологических процессах производства. Требования к количеству и качеству подаваемой воды определяются характером технологического процесса. Выполнение этих требований системой водоснабжения обеспечивает нормальную работу предприятия и надлежащее качество выпускаемой продукции. Неудовлетворительное выполнение системой водоснабжения поставленных задач может привести не только к ухудшению качества продукции или удорожанию производства, но и в ряде случаев к порче оборудования и даже к опасным авариям.

Кроме воды для технологических нужд, на каждом предприятии требуется вода для хозяйственно-питьевых нужд рабочих и служащих, а также для целей пожаротушения.

В настоящей главе рассматриваются основные отличительные особенности использования воды на нужды производства и дается краткое ознакомление с некоторыми системами и сооружениями, специфичными для водоснабжения промышленных предприятий.

§ 146. ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДЫ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Как методы использования воды на нужды производства, так и определение требуемых для производства количеств и качеств воды всецело зависят от характера технологического процесса.

Вода используется в производстве для весьма разнообразных целей. В качестве основных категорий производственного водопотребления могут быть названы: использование воды для охлаждения, для промывки, замочки, увлажнения, для парообразования, для гидротранспорта, в составе производимой продукции и т. д. Использование воды для охлаждения имеет масштабы, значительно превосходящие масштабы всех остальных видов потребления воды, причем удельный вес этой категории в общем объеме производственного водоснабжения продолжает расти. К этой категории относятся расходование воды для конденсации пара, отходящего от паровых турбин электростанций, и использование воды для охлаждения различных печей, машин и аппаратуры (металлургическая, нефтеперерабатывающая, химическая промышленность и др.). Вода для промывки, замочки и т. п. расходуется в больших количествах на нужды бумажной, целлюлозной, шерстеобрабатывающей, текстильной промышленности, промышленности искусственного волокна и др. Расходование воды на гидротранспорт различных материалов имеет место в самых разнообразных отраслях промышленности (в том числе шлако- и золоудаление на теплосиловых станциях, транспортирование шлака в доменных цехах, отходов обогатительных фабрик и т. д.).

Требуемые для производственных целей количества воды опреде-

ляются в результате технологических расчетов, так же как и требуемые количества топлива, пара, электроэнергии и т. п., и в значительной степени зависят (изменяются) от принятой схемы технологического процесса, типа используемого оборудования и др.

Приводимые в литературе удельные нормы расхода воды на единицу продукции, полученные в результате обработки и осреднения фактических данных о расходовании воды промышленностью, могут использоваться лишь для приближенных предварительных расчетов по определению предполагаемых объемов производственного водопотребления.

Одной из специфических особенностей производственного водопотребления является зависимость в ряде случаев количества используемой воды от ее качества, в частности (и наиболее часто) от ее температуры. Так, вода, используемая для целей охлаждения, должна отводить от охлаждаемой среды (оборудования) определенное количество тепла (в единицу времени). Чем меньшую температуру имеет используемая вода, тем, очевидно, меньше ее потребуется для того же охладительного эффекта. Это обстоятельство обусловливает изменение расхода охлаждающей воды по сезонам года: зимой он меньше, чем летом.

Исключительно важное значение для многих отраслей промышленности имеет соблюдение требований относительно допустимого содержания в используемой воде различных веществ. Требования эти весьма различны для различных технологических процессов и в количественном и в качественном отношении.

Так, вода, используемая для охлаждения, должна не засорять трубки холодильников, не обладать коррозионными свойствами и (как уже сказано) иметь по возможности низкую температуру. Значительная жесткость охлаждающей воды также нежелательна из-за возможности интенсивного отложения солей на стенках холодильников.

Вода, используемая для промывочных целей, не должна содержать веществ, отрицательно влияющих на промываемый материал; нежелательно содержание в ней солей, вызывающих увеличение расхода моющих веществ. Для некоторых химических производств требуется удаление из воды различных солей, глубокое осветление воды, удаление из нее растворенных газов и т. п. Выполнение требований производства к качеству используемой воды обеспечивает повышение качества и удешевление продукции.

Следует отметить, что ряд современных производственных потребителей предъявляет к качеству используемой воды столь высокие требования, что им не может удовлетворять ни один природный источник водоснабжения. Эти требования могут быть выполнены только в результате искусственной обработки воды. К таким производственным потребителям относятся, например, современные паровые котлы высокого давления, промышленность полупроводников и др.

Режим расходования воды на производственные нужды определяется режимом работы промышленного предприятия и методами использования воды. В некоторых случаях (в частности, при использовании воды для охлаждения) расходование воды идет почти равномерно в течение суток. Иногда вода расходуется периодически для наполнения в заданное время различных баков, ванн и т. п.

Кроме изменения интенсивности расходования воды в течение суток, в ряде случаев для производственного водоснабжения необходимо учитывать отмеченные выше сезонные колебания водопотребления.

Требования отдельных производственных потребителей к свободным напорам на вводах весьма различны и зависят от типа используемого оборудования, высоты производственных зданий и т. п. В некото-

рых случаях для отдельных агрегатов, требующих подачи воды под повышенными напорами, представляется целесообразным устраивать местные повысительные установки. Недопустимое снижение давлений в водопроводной сети может повлечь за собой снижение расходов воды, подаваемой к охлаждающим установкам, их перегрев или порчу продукции.

Весьма важное значение имеет обеспечение достаточной надежности систем производственного водоснабжения. Ряд предприятий не допускает не только перерыва (даже кратковременного) в подаче воды, но и всякого снижения подачи. Нарушение установленного режима подачи воды может привести к серьезным авариям оборудования, причиняющим большой материальный ущерб и опасным для жизни людей; изменение режима подачи или изменение качества подаваемой воды может повлечь за собой ухудшение качества (брак) продукции или расстройство оборудования. Таким образом, обеспечение высокой надежности систем производственного водоснабжения необходимо и с социальной, и с экономической точки зрения.

§ 147. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Указанные выше требования производственных потребителей к обеспечению их водой (объемы водопотребления, требования к качеству воды и высокие требования к надежности) обусловливают особый подход к выбору источника и системы водоснабжения. Большая стоимость систем водоснабжения крупных промышленных предприятий вызывает необходимость весьма глубокого технико-экономического анализа возможных вариантов решения этой проблемы для выбора оптимального варианта.

Для некоторых крупных производственных объектов требуются столь большие расходы воды, что часто местных водных источников оказывается недостаточно. Между тем место расположения многих промышленных предприятий в значительной степени диктуется наличием источников сырья, месторождений полезных ископаемых, местного топлива и т. д. В подобных условиях приходится обращаться к использованию удаленных источников воды, достаточно мощных для удовлетворения потребностей предприятия. Транспортирование больших количеств воды на большие расстояния требует затрат весьма значительных средств на строительство и эксплуатацию соответствующих сооружений. Иногда возникает вопрос о том, где же выгоднее (экономичнее) располагать предприятие — ближе к источникам сырья (топлива) или ближе к источникам воды. В отношении ряда отраслей промышленности (горнорудной, металлургической и т. п.) вопрос решается в пользу расположения предприятия вблизи источников сырья. Однако в некоторых случаях, например при выборе места расположения тепловых электростанций, может оказаться экономически целесообразнее располагать их ближе к источникам воды, чем к источникам топлива. Сокращение дальности транспортирования воды к объекту всегда повышает, кроме того, надежность системы водоснабжения. Таким образом, самый выбор места расположения промышленного предприятия может зависеть от возможности его водообеспечения.

При выборе места расположения промышленного предприятия необходимо также учитывать возможное влияние его на местные природные водоемы. Сточные воды промышленных предприятий часто бывают сильно загрязнены, а иногда и токсичны. Надлежащая очистка больших

количеств сточных вод связана с весьма большими затратами. Сброс же сточных вод без достаточной очистки вызывает недопустимое загрязнение водоемов. Как уже было сказано, принятый в СССР закон об охране вод устанавливает очень строгие правила по предупреждению загрязнения природных водоемов сточными водами.

Как локальная недостаточность водных ресурсов, так и необходимость резкого уменьшения стоков обусловливают широкое применение в производстве оборотного водоснабжения и повторного использования воды. Сокращение расходов «свежей» воды приобретает не только экономическое, но и гигиеническое значение. Рационализация использования природной воды в производстве может в ряде случаев привести к созданию полностью замкнутых циклов водооборота, при которых практически требуются минимальные отборы свежей воды из источника.

В главе 3 была приведена принципиальная схема оборотного водоснабжения. В реальных условиях при наличии различных требований к качеству используемой воды и различного качества стоков, зависящих от состава цехов промышленного предприятия, системы оборотного водоснабжения модифицируются и усложняются. Так, на рис. VII.1, *а* показана схема оборотного водоснабжения при различном качестве сбросной воды в двух группах цехов, т. е. когда цехи одной группы не допу-

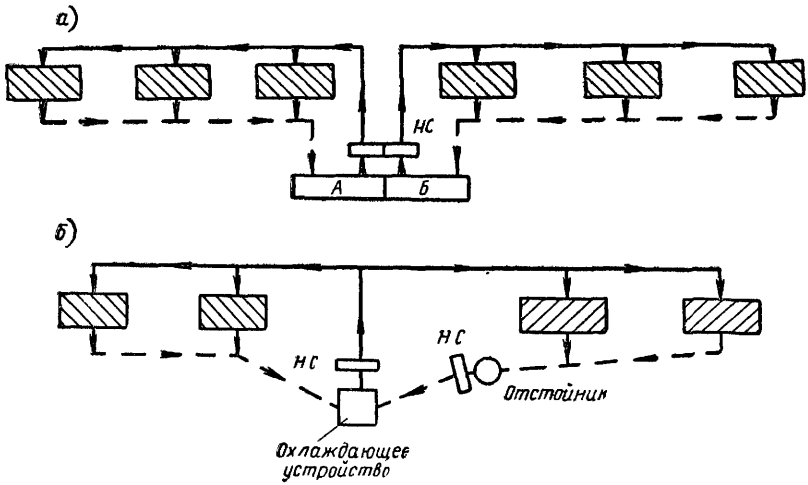


Рис. VII.1

скают использования воды, которую сбрасывают цехи другой группы. В этих условиях устраивают изолированные отсеки охлаждающих устройств *А* и *Б*, отдельные группы насосов на циркуляционной насосной станции и отдельные подающие водоводы для воды разного качества. На рис. VII.1, *б* показана схема оборотного водоснабжения, при которой цехи одной группы сбрасывают воду, требующую дополнительного осветления в отстойниках. После охлаждения вода подается в обе группы цехов единой системой труб.

В практике производственного водоснабжения получили широкое применение системы последовательного использования воды. Эти системы (рис. VII.2) устраивают, когда качество воды, сбрасываемой одним потребителем, допускает ее использование другими потребителями Так, потребитель *I* сбрасывает воду нагретую, но не загрязненную. Она

может быть использована потребителями *II*. Если количество воды, сбрасываемой потребителем *I*, превышает потребность цехов *II*, ее избыток может поступать в общий сток.

В некоторых случаях вода из оборотного цикла одного потребителя *А* (рис. VII.3) после охлаждения частично используется для группы других потребителей *Б*, т. е. имеет место комбинация оборотного водоснабжения и последовательного использования воды.

Системы последовательного использования воды позволяют значительно сократить подачу свежей воды из источника и снизить затраты на водоснабжение предприятия в целом.

На крупных предприятиях, занимающих весьма большую территорию, иногда оказывается рентабельным разделение системы их оборот-

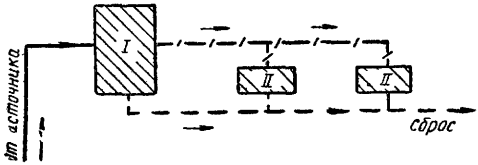


Рис. VII.2

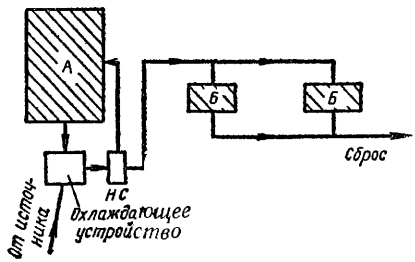


Рис. VII.3

ного водоснабжения на несколько отдельных систем — по группам цехов с устройством нескольких блоков охлаждающих сооружений *1* и насосных станций *2* (рис. VII.4). Такая децентрализация позволяет снизить затраты на сооружение водоводов и магистралей в пределах площадки, сократить суммарные расходы энергии на подачу воды и одновременно повысить надежность водоснабжения.

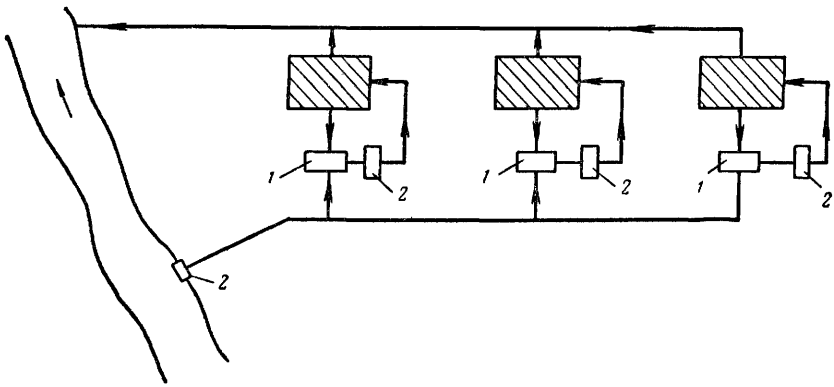


Рис. VII.4

В ряде случаев в системе производственного водоснабжения отдельные потребители (цехи) требуют подачи им воды под существенно различными напорами. Тогда в целях снижения расходов энергии на подачу воды для отдельных групп производственных потребителей устраивают отдельные сети разных напоров, т. е. применяют своеобразное зонирование системы водоснабжения.

Таким образом, на одной промышленной площадке могут быть сооружены отдельные системы для подачи воды различного качества, разных температур и разных давлений.

Глава 30

ОХЛАЖДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При оборотном водоснабжении промышленного объекта охлаждающее устройство (охладитель) должно обеспечить охлаждение циркуляционной воды до температур, отвечающих оптимальным технико-экономическим показателям работы объекта.

Понижение температуры воды в охладителях происходит за счет передачи ее тепла воздуху. По способу передачи тепла охладители, применяемые в системах оборотного водоснабжения, разделяются на испарительные и поверхностные (радиаторные). В испарительных охладителях охлаждение воды происходит в результате ее испарения при непосредственном контакте с воздухом (испарение 1% воды снижает ее температуру на 6°). В радиаторных охладителях охлаждаемая вода не имеет непосредственного контакта с воздухом. Вода проходит внутри трубок радиаторов, через стенки которых происходит передача ее тепла воздуху.

Так как теплоемкость и влагоемкость воздуха относительно невелики, для охлаждения воды требуется интенсивный воздухообмен. Например, для понижения температуры воды с 40 до 30° С при температуре воздуха 25° С на 1 м^3 охлаждаемой воды к испарительному охладителю должно быть подведено около 1000 м^3 воздуха, а к радиаторному охладителю, в котором воздух только нагревается, но не увлажняется,— около 5000 м^3 воздуха.

Испарительные охладители по способу подвода к ним воздуха разделяются на открытые, башенные и вентиляторные. К открытым охладителям относятся водохранилища-охладители (или пруды-охладители), брызгальные бассейны, открытые градирни. В них движение воздуха относительно поверхности охлаждаемой воды обусловливается ветром и естественной конвекцией. В башенных охладителях — башенных градирнях — движение воздуха вызывается естественной тягой, создаваемой высокой вытяжной башней. В вентиляторных охладителях — вентиляторных градирнях — осуществляется принудительная подача воздуха с помощью нагнетательных или отсасывающих вентиляторов.

Радиаторные охладители, которые называют также «сухими градирнями», по способу подвода к ним воздуха могут быть башенными или вентиляторными.

Для охлаждения циркуляционной воды до достаточно низких температур требуется большая площадь контакта ее с воздухом — порядка 30 м^2 на 1 м^3/ч охлаждаемой воды. Соответственно этой рекомендации следует принимать площадь зеркала воды водохранилищ-охладителей. В градирнях необходимая площадь контакта создается путем распределения воды над оросительными устройствами, по которым она стекает под действием силы тяжести в виде тонких пленок или капель, разбивающихся при попадании на рейки на мельчайшие брызги. В брызгальных бассейнах для создания необходимой площади контакта с воздухом вода разбрызгивается специальными соплами на мельчайшие кап-

ли, суммарная поверхность которых должна быть достаточной для испарительного охлаждения.

§ 148. ПРОЦЕССЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В ОХЛАДИТЕЛЯХ

Теплообмен в испарительных охладителях. При охлаждении воды в испарительных охладителях понижение ее температуры определяется совместным действием различных по физической природе процессов: теплоотдачи соприкосновением, т. е. переноса тепла путем теплопроводности и конвекции, и поверхностного испарения воды, т. е. превращения части ее в пар и переноса пара путем диффузии и конвекции.

В результате теплоотдачи соприкосновением, которая происходит от среды более теплой к среде более холодной, вода отдает тепло, если ее температура выше температуры воздуха, и получает тепло, если ее температура ниже температуры воздуха.

Удельное количество тепла, переданного соприкосновением, определяется по формуле

$$q_c = \alpha(t - \theta),$$

где q_c — удельное количество тепла в ккал/(м²·ч);
α — коэффициент теплоотдачи соприкосновением в ккал/(м²·ч·°С);
t — температура поверхности воды в °С;
θ — температура воздуха в °С.

Поверхностное испарение жидкости происходит, когда парциальное давление пара, содержащегося в воздухе, меньше давления насыщения пара при температуре поверхности жидкости.

Удельное количество тепла, теряемого водой в результате испарения, определяется по формуле

$$q_и = \beta(e_m - e),$$

где $q_и$ — удельное количество тепла в ккал/(м²·ч);
β — коэффициент теплоотдачи испарением в ккал/(м²·ч·мм вод. ст.);
e_m — давление насыщения пара при температуре поверхности воды в мм вод. ст.;
e — парциальное давление водяного пара в воздухе (абсолютная влажность воздуха) в мм вод. ст.

Сумма удельных количеств тепла, передаваемого через водную поверхность в результате совместного действия теплоотдачи соприкосновением и поверхностного испарения, равна

$$q_o = q_c + q_и = \alpha(t - \theta) + \beta(e_m - e).$$

Когда $t > \theta$, оба процесса действуют в одном направлении, вызывая охлаждение воды. При $t = \theta$ передача тепла соприкосновением прекращается, и охлаждение воды происходит только благодаря поверхностному испарению. Вода будет продолжать охлаждаться и при $t < \theta$ до тех пор, пока количество тепла, передаваемого воздухом воде соприкосновением, не сравняется с количеством тепла, теряемого водой в результате испарения, т. е. пока не будет соблюдаться равенство $q_c + q_и = 0$. Температура воды в этот момент достигнет того же значения, которое имеет температура охлаждающего воздуха τ, измеренная смоченным термометром. Это значение температуры является теоретическим пределом охлаждения воды воздухом. Отметим, что хотя охлаждение воды при температуре ее, равной τ, прекратится, испарение ее и приток к ней тепла будут продолжаться.

Фактически вода в охладителях не охлаждается до теоретического предела. Например, температура воды, охлажденной на градирнях,

обычно на 8—14° С превышает температуру воздуха по смоченному термометру, но может оказаться ниже температуры воздуха, измеренной обычным (сухим) термометром.

Таким образом, при испарительном охлаждении может быть достигнута температура воды, более низкая, чем температура воздуха.

Особенности теплообмена в водохранилищах-охладителях. При охлаждении воды в открытых водоемах с большим зеркалом воды кроме теплоотдачи соприкосновением и испарением осуществляется также теплообмен излучением. Последний процесс происходит путем проникания солнечной лучевой энергии (радиации) через открытую поверхность воды. При этом часть солнечной радиации отражается от поверхности воды. В то же время происходит излучение тепла водной поверхностью, как всяким нагретым телом или средой (эффективное излучение).

Удельное количество тепла, переданного воде излучением, определяется радиационным балансом

$$R = (Q + q)n(1 - a) - I,$$

где R — радиационный баланс в Мкал/(м²·сутки);
Q — прямая солнечная радиация в Мкал/(м²·сутки);
q — рассеянная солнечная радиация в Мкал/(м²·сутки);
n — общая облачность в долях единицы;
$(Q+q)n$ — суммарная солнечная радиация при общей облачности в Мкал/(м²·сутки);
a — характеристика отражательной способности воды или альбедо в долях единицы;
$(Q+q)\,n\,(1-a)$ — поглощенная водой суммарная радиация в Мкал/(м²·сутки);
I — эффективное излучение водной поверхностью, зависящее от температуры воды и общей облачности, а также от температуры и влажности воздуха, в Мкал/(м²·сутки).

Сумма удельных количеств тепла, передаваемого через водную поверхность открытого водоема, равна:

$$q_в = q_с + q_и - R$$

Солнечная радиация может заметно снижать охладительный эффект испарительного охлаждения. Поэтому вода, охлаждаемая в открытом водоеме, не может достичь температуры, измеренной смоченным термометром. Теоретическим пределом охлаждения в этом случае является естественная температура воды на поверхности водоема при установившихся метеорологических условиях, удовлетворяющая равенству:

$$q_с + q_и - R = 0$$

Теплообмен в радиаторных охладителях. Тепло от воды к воздуху в радиаторных охладителях передается через стенки трубчатых радиаторов, в которых циркулирует охлаждаемая вода.

Удельное количество тепла, переданного через стенку радиатора, определяется по формуле

$$q_р = \alpha_р(t - \theta),$$

где $q_р$ — удельное количество тепла в ккал/(м²·ч);
$\alpha_р$ — общий коэффициент теплопередачи от воды к воздуху в ккал/(м²·ч·°С);
t — температура воды, проходящей через радиатор, в °С;
θ — температура воздуха, обтекающего радиатор, в °С.

Общий коэффициент теплопередачи $\alpha_р$ зависит от теплопроводности материала, из которого выполнен радиатор, толщины стенки его трубок, а также от интенсивности теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубки и от наружной поверхности трубки к воздуху. Он определяется из формулы

$$\frac{1}{\alpha_р} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2},$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубки радиатора в ккал/(м²·ч·°С);
s — толщина стенки радиатора в м;
λ — теплопроводность материала радиатора в ккал/(м²·ч·°С);
α_2 — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки радиатора к воздуху в ккал/(м²·ч·°С).

Коэффициент α_2 имеет весьма низкие значения даже при больших скоростях воздуха, обтекающего радиаторы. Для компенсации плохой теплоотдачи к воздуху выгодно увеличить поверхность радиаторов со стороны воздуха. Поэтому они выполняются с ребрами на наружной поверхности трубок.

Теоретическим пределом охлаждения воды в радиаторных охладителях является температура воздуха, измеренная сухим термометром.

§ 149. ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛИ

По назначению, расположению и условиям питания водохранилища-охладители разделяются на следующие группы:

регулирующие водохранилища на водотоках, используемые не только для охлаждения циркуляционной воды, но и для сезонного или многолетнего регулирования стока;

водохранилища-охладители на водотоках без регулирования стока, сооружаемые лишь для создания поверхности, достаточной для охлаждения циркуляционной воды;

водохранилища-охладители на естественных озерах и прудах;

наливные водохранилища, сооружаемые вне водотока, с подпиткой из ближайших рек.

Схемы циркуляции воды в водохранилищах-охладителях. Свободная поверхность водохранилища-охладителя не вся одинаково эффективно участвует в отдаче тепла, поступающего с нагретой циркуляционной водой. Количество тепла, отводимого с единицы площади того или иного участка поверхности водохранилища, зависит от температуры воды на этом участке. Поэтому при термическом расчете водохранилища-охладителя необходимо представить картину распределения температур по его поверхности; следовательно, необходимо составить схему распределения потока теплой воды от точки ее сброса до места ее приема.

Схема циркуляции в водохранилище-охладителе определяется его формой, взаимным расположением водосбросных и водоприемных сооружений, а также струераспределительными и струенаправляющими сооружениями.

При проектировании для современных мощных электростанций крупных водохранилищ-охладителей с глубинами, достигающими десятков метров, и с объемами воды в сотни миллионов кубических метров следует учитывать, что кроме градиентных течений, вызываемых сбросом циркуляционного расхода и поступлением речной воды, в водохранилищах имеют место также ветровые, плотностные и компенсационные течения.

Ветровые течения приводят к сгону воды от подветренной стороны водоема и к нагону ее у наветренной стороны. Возникающий при этом горизонтальный градиент давления, направленный в сторону, противоположную ветру, вызывает один из видов глубинных компенсационных течений.

Известно, что вода имеет максимальную плотность при температуре 4° С, а при нагревании ее плотность уменьшается. Передача тепла в водную толщу за счет молекулярной диффузии и теплопроводности весьма слаба. Поэтому при прогреве верхних слоев воды возникает температурная стратификация: температура воды на поверхности оказывается выше, чем в глубинных слоях, и эта разница достигает иногда 10° С и более. При выпуске теплой воды на поверхность водохранилища может возникнуть устойчивая разница температур воды в верхних и нижних слоях и произойти расслоение потоков, имеющих различную плотность. В этом случае возникают верхнее теплое и глубинное холодное течения, которые могут быть разнонаправленными. Такие течения называются плотностными.

При сбросе нагретой воды в водохранилище у сбросных сооружений часто наблюдается понижение температуры воды на несколько градусов. Это объясняется тем, что нагретая вода, если она выходит в водохранилище со значительными скоростями, эжектирует массы холодной воды из придонных слоев и вовлекает их в циркуляционный поток. Этот смешанный поток, имея меньшую плотность, чем придонные слои, выходит на поверхность, а по направлению к сбросным сооружениям возникает глубинный ток холодной воды, являющийся вторым видом компенсационных течений.

Вследствие отсутствия методов, позволяющих установить расчетным путем действительную сложную картину распределения течений и температур воды по поверхности и глубине водохранилища-охладителя, при решении практических инженерных задач приходится принимать весьма упрощенную схему течений.

Приближенный метод построения плана течений в водохранилище-охладителе был впервые предложен в 1933 г. инж. Н. М. Бернадским. Пользуясь этим методом, разработанным на базе теории турбулентного потока, можно с учетом сил трения по дну и сил касательных напряжений между соседними струями построить план транзитного потока (от места сброса воды до водоприемных сооружений), водоворотов, вызванных транзитным потоком, и застойных зон.

Считается, что с поверхности водоворотов теплоотдача происходит с меньшей интенсивностью, чем с поверхности транзитного потока. Площадь действительной поверхности водохранилища заменяется, согласно предложению Н. М. Бернадского, «площадью активной зоны», которая учитывает теплоотдачу транзитного потока и смежных с ним водоворотов. Отношение площади активной зоны к площади действительной поверхности водохранилища называется коэффициентом использования площади водохранилища: $K=\omega_{акт}/\omega_{в}$. Этот коэффициент в зависимости от формы водохранилища, схемы расположения водосбросных и водоприемных сооружений и условий растекания циркуляционного потока может иметь значения от 0,5 до 0,95.

Более надежные данные для проектирования, в частности значения коэффициента использования площади водохранилища-охладителя, могут быть получены по результатам гидротермического моделирования на крупномасштабной модели водохранилища, которое проводится по методике, разработанной ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева в 1971 г.

Чтобы распределить транзитный поток циркуляционной воды по

возможно большей части поверхности водохранилища и создать площадь активной зоны, достаточную для охлаждения расчетного расхода, нагретую на промышленном предприятии воду сбрасывают на значительном расстоянии от водоприемных сооружений, а также применяют струенаправляющие и струераспределительные сооружения.

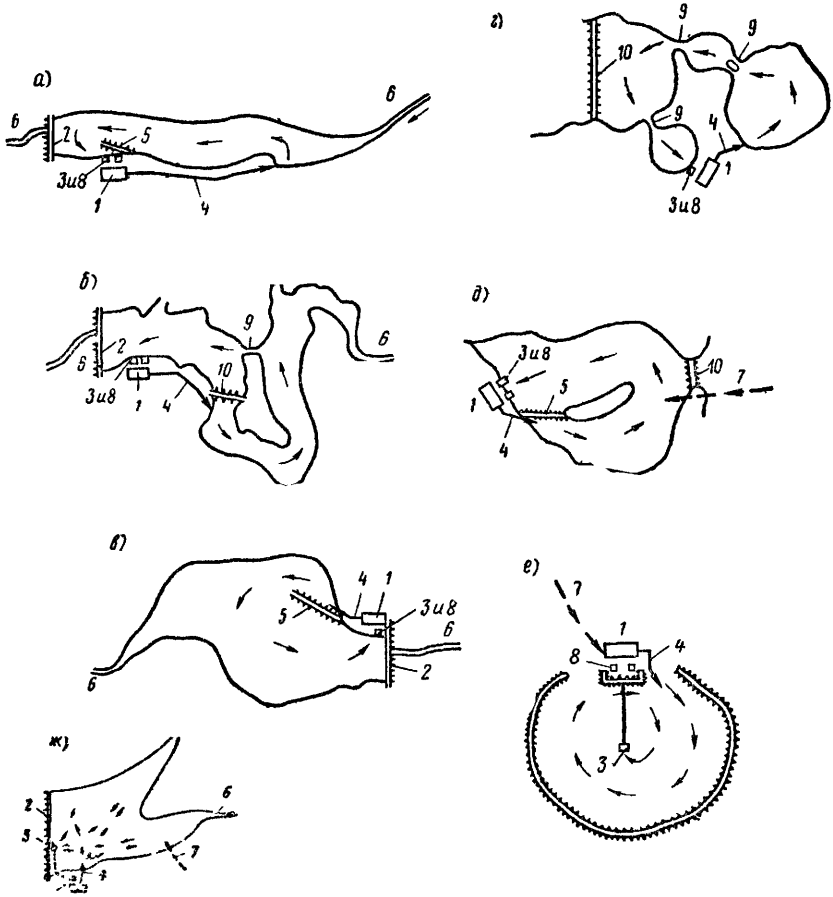


Рис. VII 5

1 — промышленное предприятие; *2* — плотина; *3* — водоприемное сооружение; *4* — отводящий канал; *5* — струенаправляющая дамба; *6* — река; *7* — подача воды из соседней реки; *8* — насосная станция; *9* — прорезь; *10* — перегораживающая дамба

Исследованиями последних лет установлено, что в больших и глубоких водохранилищах-охладителях, которые сооружаются, например, для современных мощных теплоэлектростанций, возможно создание объемной циркуляции воды. Для этого необходимо организовать прием воды только из глубинных слоев водохранилища, а нагретую воду сбрасывать на поверхность водохранилища с малыми скоростями. Тогда можно располагать сбросные сооружения вблизи водоприемных и даже совмещать их в одном сооружении. При этом нагретая вода, имеющая меньшую плотность, чем холодная, растекается по поверхности водохранилища и, охлаждаясь, переходит в глубинные слои, которые движутся к водоприемным сооружениям. Такая схема циркуляции позволяет отказаться от длинных отводящих каналов и струенаправ-

ляющих сооружений при высоком коэффициенте использования площади водохранилища.

Некоторые примеры организации водохранилищ-охладителей и схем расположения сооружений, предназначенных для обеспечения наиболее полного использования их поверхности для охлаждения воды, приведены на рис. VII.5. Здесь представлены:

водохранилище вытянутой формы на водотоке (рис. VII.5, *а*); циркуляция обеспечивается отводящим каналом и струенаправляющей дамбой перед водоприемными сооружениями;

водохранилище сложной формы на водотоке (рис. VII.5, *б*); циркуляция обеспечивается перегораживающей дамбой и искусственной прорезью;

широкое водохранилище на водотоке (рис. VII.5, *в*); циркуляция обеспечивается струенаправляющей дамбой;

использование системы естественных озер для охлаждения воды (рис. VII.5, *г*);

наливное водохранилище, для сооружения которого удачно использован рельеф местности (рис. VII.5, *д*);

наливное водохранилище с круговой циркуляцией воды и водоприемным сооружением в центре (рис. VII.5, *е*);

глубокое водохранилище на малом водотоке с выпуском нагретой воды на поверхность и глубинным водоприемным сооружением, расположенным вблизи выпуска (рис. VII.5, *ж*); циркуляция воды — объемная с разнонаправленными поверхностным и глубинным потоками.

Тепловой расчет водохранилища-охладителя. Тепловой расчет водохранилища-охладителя производится для определения температуры охлажденной воды у места ее приема при заданной площади активной зоны или для определения необходимой площади активной зоны водохранилища при заданных тепловой и гидравлической нагрузках.

Температура охлажденной воды определяется для установившегося теплового режима применительно к метеорологическим условиям наиболее неблагоприятной для охлаждения воды декады. Это достигается решением уравнения теплового баланса:

$$Q_1 t_1 + Q_\text{р} t_\text{р} - Q_2 t_2 - Q_\text{сбр} t_\text{сбр} = [A(e_m - e) + B(k_1 t_\text{ср} - \theta) - R + \Delta I]\omega_\text{акт},$$

где $Q_1 t_1$ — количество тепла, сбрасываемого в водохранилище с нагретой водой, в Мкал/сутки;

$Q_\text{р} t_\text{р}$ — количество тепла, приносимого с речной водой, в Мкал/сутки;

$Q_2 t_2$ — количество тепла, забираемого с водой из водохранилища, в Мкал/сутки;

$Q_\text{сбр} t_\text{сбр}$ — количество тепла, сбрасываемого из водохранилища, в Мкал/сутки;

$A(e_m - e)$ — удельное количество тепла, отдаваемого поверхностью водохранилища путем испарения, в Мкал/(м^2·сутки);

$B(k_1 t_\text{ср} - \theta)$ — удельное количество тепла, отдаваемого поверхностью водохранилища путем конвекции (соприкосновением), в Мкал/(м^2·сутки);

k_1 — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения температур воды по глубине водохранилища;

$t_\text{ср}$ — средняя температура активной зоны водохранилища-охладителя в °С;

R — радиационный баланс неподогреваемого водоема в Мкал/(м^2·сутки);

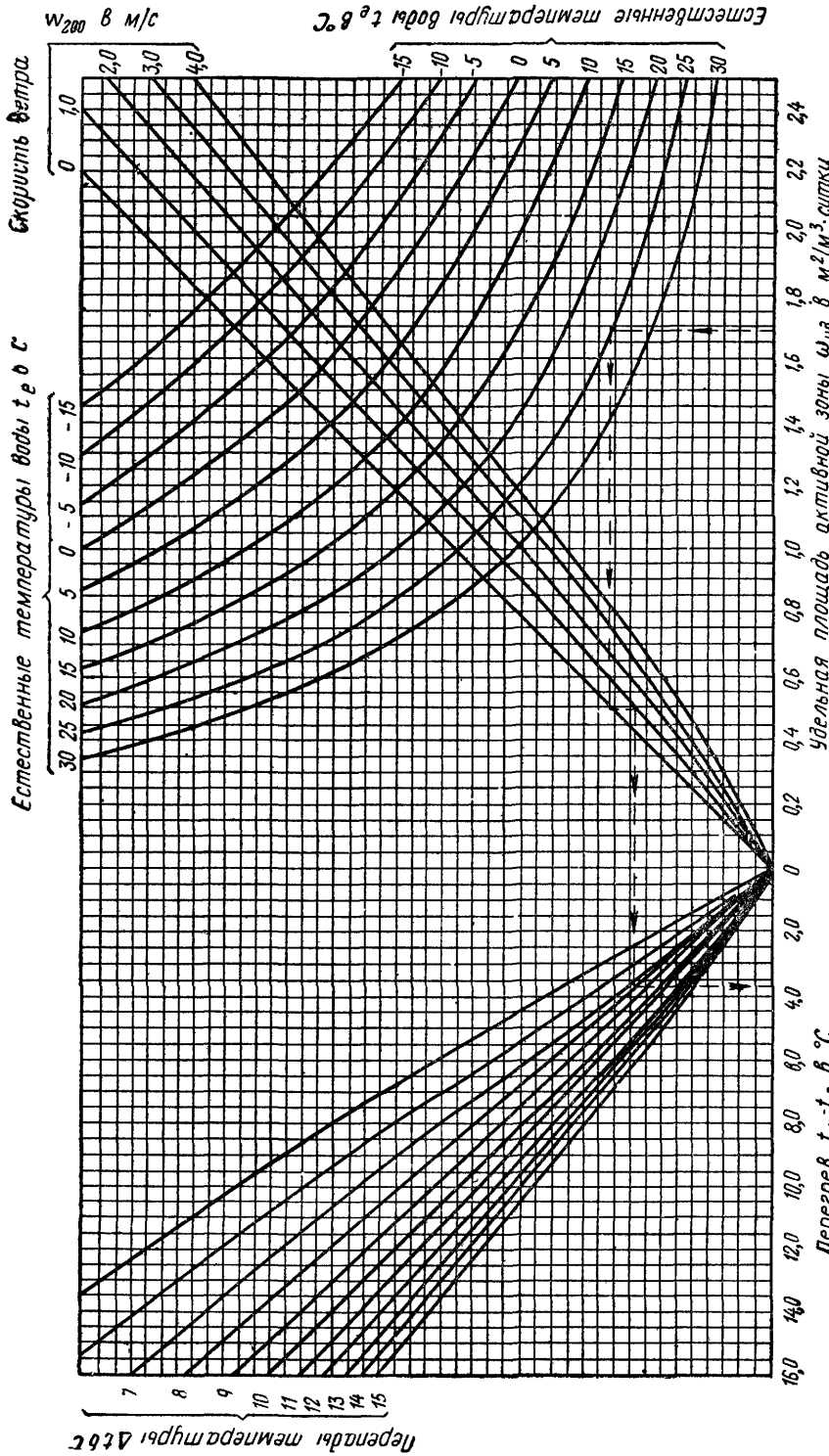

Скорость ветра w_{200} в м/с
0
1,0
2,0
3,0
4,0
Естественные температуры воды t_e в °С
30 25 20 15 10 5 0 -5 -10 -15
Естественные температуры воды t_e в °С
-15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30
Перепады температуры Δt в °С
7 8 9 10 11 12 13 14 15
Перегрев $t_2 - t_e$ в °С
0 2,0 4,0 6,0 8,0 10,0 12,0 14,0 16,0
Удельная площадь активной зоны $\omega_{уд}$ в $м^2/м^3 \cdot сутки$
0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4

Рис. VII.6

ΔI — дополнительное эффективное излучение водной поверхностью в Мкал/(м²·сутки);

$\omega_{акт}$ — площадь активной зоны водохранилища в м².

Коэффициенты теплоотдачи принимаются равными:

коэффициент теплоотдачи испарением

$$A = 0{,}231(1 + 0{,}135\ w_{200})\ \text{Мкам/(м}^2\cdot\text{сутки}\cdot\text{мм вод. ст.)};$$

коэффициент теплоотдачи конвекцией

$$B = 0{,}48A = 0{,}11(1 + 0{,}135\ w_{200})\ \text{Мкал/(м}^2\cdot\text{сутки}\cdot{}^\circ\text{C)},$$

где w_{200} — скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью воды в м/с.

Из этого уравнения определяется средняя температура воды в пределах активной зоны водохранилища-охладителя $t_{ср}$. Температура охлажденной воды t_2, поступающей в водоприемное сооружение, определяется из следующего уравнения:

$$t_{ср} = t_e + \frac{t_1 - t_2}{\ln\dfrac{t_1 - t_e}{t_2 - t_e}},$$

где t_e — естественная температура воды в водохранилище без учета подогрева ее теплом, отводимым от промышленного объекта;

t_1 — температура нагретой циркуляционной воды, сбрасываемой в водохранилище от промышленного предприятия.

Естественная температура воды для проектируемого водохранилища-охладителя может быть принята по аналогии с температурой воды в водоемах, расположенных в том же районе, или определена по уравнению теплового баланса

$$A(e_m - e) + B(k_1 t_e - \theta) - R = 0,$$

которое решается подбором относительно t_e.

Для облегчения практических расчетов можно пользоваться номограммой на рис. VII.6, для чего следует подсчитать удельную площадь активной зоны $\omega_{уд}$, приходящуюся на единицу расхода охлаждаемой воды, в м²/м³ в сутки. По номограмме определяется перегрев охлажденной в водохранилище циркуляционной воды, поступающей к месту ее приема, по сравнению с естественной температурой воды ($t_2 - t_e$) в зависимости от величины нагрева воды на электростанции (перепада температур $\Delta t = t_1 - t_2$).

Для ориентировочных расчетов можно принимать необходимую площадь водохранилища-охладителя от 30 до 50 м² для охлаждения 1 м³/ч воды на 8—10°.

Основные сооружения водохранилищ-охладителей. Проектирование плотин, дамб, водосбросов и каналов для водохранилищ-охладителей производят по соответствующим нормам проектирования гидротехнических сооружений.

Место расположения водосбросных и водоприемных сооружений, а также сооружений, увеличивающих активную зону водохранилища (струераспределительных и струенаправляющих сооружений), выбирают исходя из условий получения необходимой площади активной зоны на основе технико-экономических расчетов.

Струенаправляющие и струераспределительные сооружения выполняют в виде водосливов, лотков, труб, консольных водосбросов. Струераспределительные сооружения наиболее целесообразно выполнять в виде затопленных водосливов распластанного профиля либо в виде фильтрующих дамб из каменной наброски. Такие сооружения обеспечивают выпуск теплой воды на поверхность водохранилища с малыми скоростями, что предотвращает появление глубинного течения к водосбросу.

Наиболее рациональным типом сооружения для забора воды из водохранилища-охладителя глубиной не менее 4—5 м является глубинный водозабор, обеспечивающий получение воды из придонных слоев. Этим достигается наиболее низкая температура охлаждающей воды, предотвращение или резкое уменьшение захвата биологических загрязнений (микроорганизмов, низшей водной растительности, личинок моллюсков) и наиболее рациональная продувка водохранилища. При глубинном водозаборе резко уменьшается захват рыбы и, что особенно важно, мальков, которые обитают обычно на небольших глубинах. Глубинный водозабор обеспечивает также бесперебойную подачу воды к потребителям при шуговых явлениях без принятия мер по обогреву водозабора.

Во избежание подсасывания воды из верхних слоев входные окна глубинного водозабора должны быть расположены на достаточной глубине, а входные скорости воды должны быть минимальными. В зависимости от глубины расположения верхней кромки входного окна водозабора входные скорости принимаются от 0,1 до 0,3 м/с.

Глубинные водозаборы выполнялись ранее в виде забральных стенок, погруженных на определенную глубину и образующих входные отверстия между дном водохранилища и нижней кромкой стенки. В последние годы широкое применение получили водоприемные сооружения, выполненные в виде подводной галереи со щелью переменного сечения во фронтальной стенке и козырьком над щелью, конструкция которых разработана в институте Теплоэлектропроект (рис. VII.7). Такое водоприемное сооружение не подвергается воздействию волновых и ледовых нагрузок и обеспечивает равномерное поступление воды по всему водоприемному фронту.

§ 150. БРЫЗГАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Брызгальные устройства представляют собой систему сопл, разбрызгивающих подводимую к ним под напором воду, подлежащую охлаждению. Суммарная поверхность капель должна быть достаточной для охлаждения воды, которое происходит в результате ее испарения при контакте с воздухом, поступающим к брызгальному устройству благодаря ветру и естественной конвекции.

Сложность процесса охлаждения воды в брызгальных устройствах затрудняет разработку теоретических методов их теплового расчета. Поэтому для определения температуры охлажденной в них воды пользуются эмпирическими зависимостями, полученными на основе опытных данных.

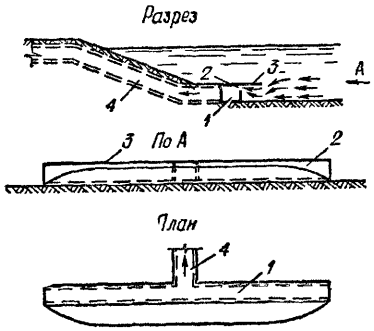


Рис VII 7

1 — подводная галерея; *2* — щель переменного сечения; *3* — козырек, *4* — самотечный водовод к насосной станции

На рис. VII.8, *а* приведена диаграмма, построенная д-ром техн. наук Л. Д. Берманом, в которой дается зависимость температуры охлажденной воды от температуры воздуха, измеренной смоченным термометром, при напоре перед соплами $H=5$ м вод. ст. и скорости ветра $w=2$ м/с. При большем напоре из температуры охлажденной воды, полученной на основной диаграмме, вычитается поправка, определяемая по дополнительному графику (рис. VII.8, *б*).

Брызгальные устройства могут размещаться либо над искусственным бассейном, служащим для сбора охлажден-

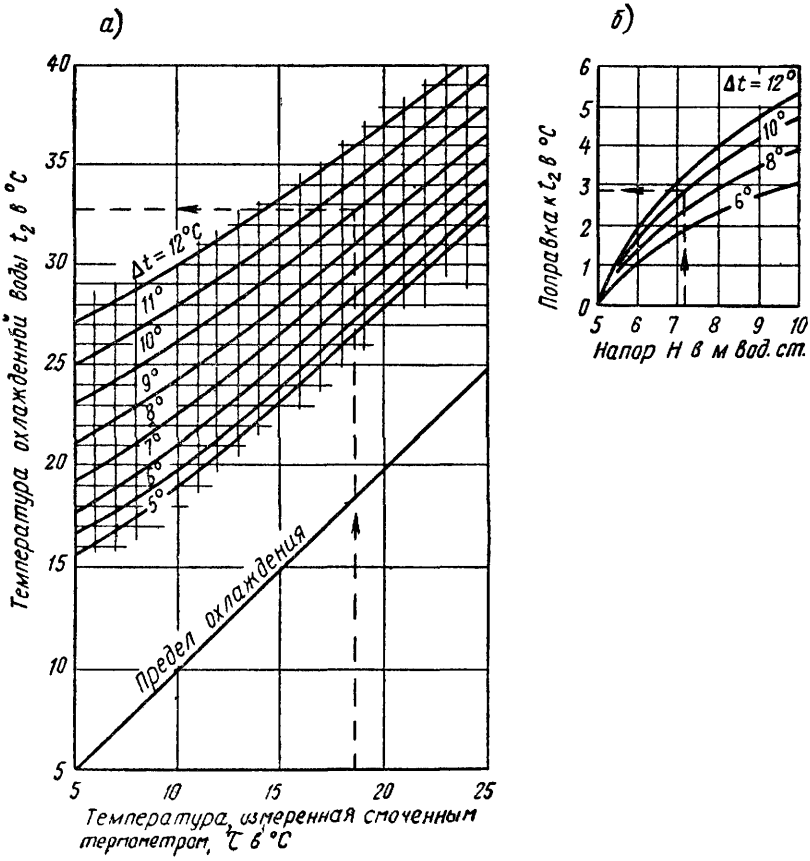


Рис. VII.8

ной воды (рис. VII.9), либо над естественным водоемом (например, в качестве дополнительных охладителей при ограниченных размерах водохранилищ-охладителей).

На одной мощной тепловой электростанции, построенной в 1972 г., с целью частичного охлаждения сбрасываемой в водохранилище воды применены брызгальные устройства, удачно расположенные на бетонированных бортах отводящего канала циркуляционной воды.

Разбрызгивающие сопла. Применяемые в брызгальных бассейнах и устройствах сопла можно разделить на два основных типа: центробежные и щелевые.

В соплах первого типа вода проходит по спирали, и разбрызгивание ее происходит за счет центробежной силы. К таким соплам относятся сопло с винтовым вкладышем конструкции МОТЭП (рис. VII.10, *а*), эвольвентные сопла (рис. VII.10, *б*) и др. Материалом для таких сопл служат ковкий чугун или пластмассы. Наиболее рациональны сопла без вкладышей, требующие меньшего напора и в меньшей степени подверженные засорению.

Щелевые сопла (например, П-16 на рис. VII.10, *в*) изготовляют из отрезков газовых труб, на конце которых делают прорези в виде щелей. Образующиеся при этом зубцы отгибают к оси таким образом, чтобы получился конус, в вершине которого оставляется небольшое отверстие.

Конструкция сопла и величина напора воды перед ним определяют поверхность охлаждения водяного факела. При повышении напора она увеличивается за счет удлинения траекторий полета капель и уменьшения их диаметра. Однако повышение напора связано с увеличением затрат электроэнергии, расходуемой циркуляционными насосами, а также с увеличением уноса мелких капель ветром за пределы бассейна.

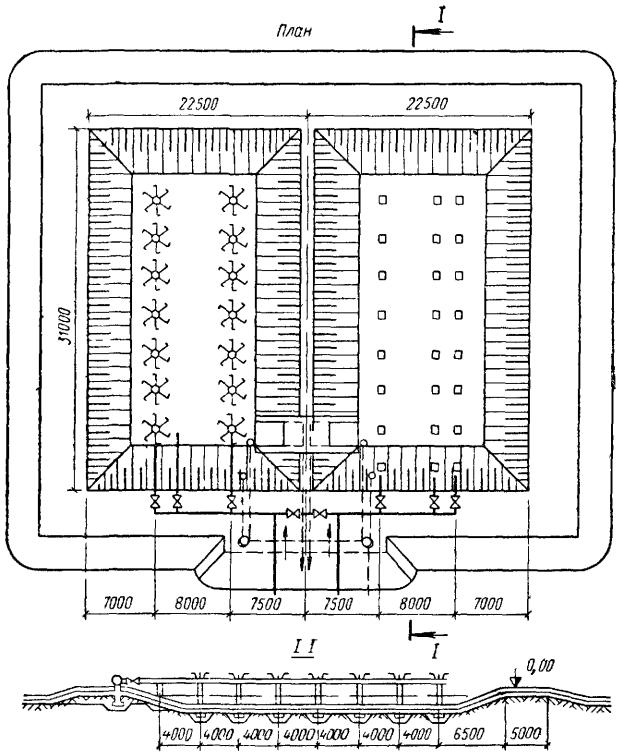


Рис. VII 9

Сопла располагаются на высоте 1,2—1,5 м над уровнем воды по одному или пучками по три—пять.

Технические данные сопл некоторых марок указаны в табл. VII.1.

Таблица VII 1

Марка сопла	Производительность при напоре 6 м вод. ст. в м³/ч	Суммарная поверхность капель в м²	Число сопл в пучке	Расстояние в м		
				между сопл	между пучками сопл	между распределительными линиями
МОТЭП диаметром 50/25 мм	20,9	41,25	3	1,2—1,5	3,3	12
«Юни-спрей»	19	35,2	3	1,2—1,5	3,3	12
Эвольвентные диаметром в мм:						
100/50	34,5	—	1	—	4	8—10
50/25	9,1	—	5	1,2—1,5	4	8,5
П-16	46	80	1	—	4,5	9—10

Для уменьшения уноса капель воды ветром крайние сопла устанавливают на расстоянии 7—10 м от края бассейна.

Распределительные линии присоединяют к коллектору, который прокладывают вдоль одного из бортов бассейна.

Трубопроводы брызгальных устройств изготовляют обычно из стали и прокладывают над или под уровнем воды. В последнем случае упро-

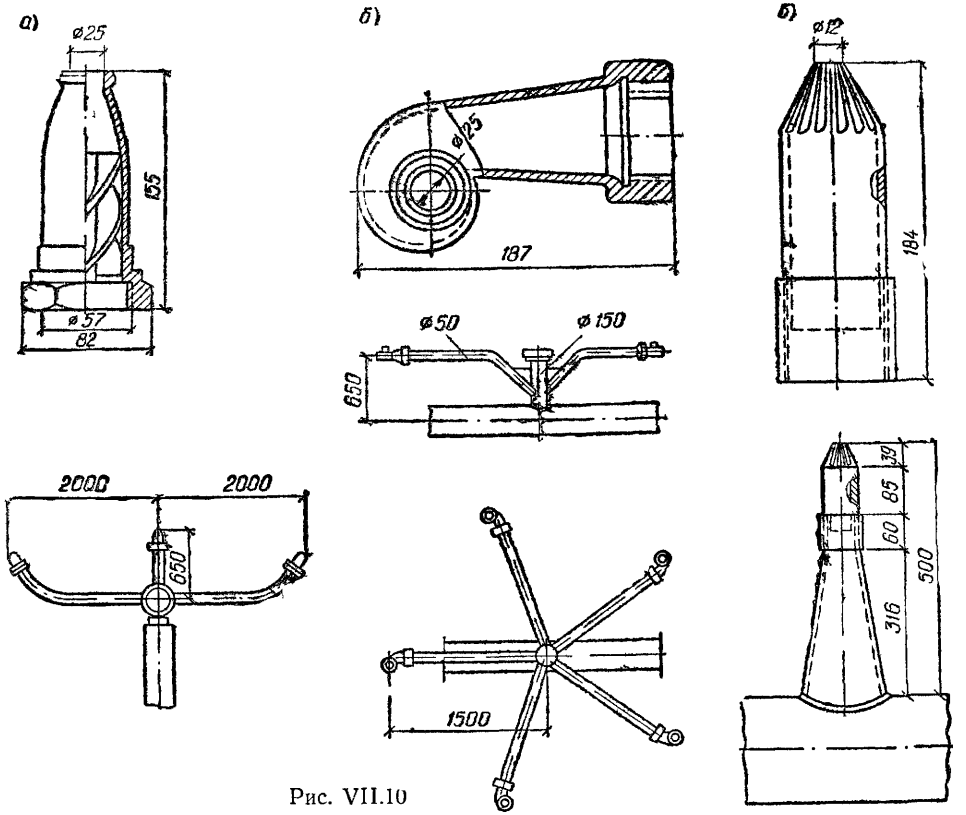


Рис. VII.10

щается конструкция опор, устраняется опасность обледенения труб в зимнее время, но ремонт трубопроводов и надзор за ними усложняются. Прокладку труб осуществляют на катковых опорах, которые устанавливают на опорных колоннах из железобетона.

При расположении брызгальных устройств над водоемами трубопроводы прокладывают на сваях или поплавках.

Размеры и расположение брызгальных устройств. Размеры брызгального устройства определяются расходом охлаждаемой воды и плотностью орошения, т. е. расходом воды, приходящимся на 1 м^2 площади брызгального устройства. В зависимости от климатических условий величину плотности орошения принимают от 0,8 до 1,3 м^3/ч на 1 м^2.

В целях эффективного продувания ветром брызгальных устройств их распределительные линии должны размещаться параллельно направлению господствующих ветров, причем расстояние между крайними соплами, размещенными на распределительной линии, не должно превышать 45 м.

При размещении брызгальных устройств следует учитывать возможность образования тумана и обледенения соседних сооружений и дорог. Расстояния от брызгал до зданий и дорог регламентированы СНиП II-Г.3-62.

В бассейне, как правило, должно быть не менее двух секций. Каждая секция должна иметь переливную трубу для предотвращения переполнения бассейна и выпуск для его опорожнения.

Глубину воды в брызгальном бассейне обычно принимают равной 1,5 м. Бровка бассейна должна возвышаться над уровнем воды не менее чем на 0,3 м.

Одежда откосов и дна бассейнов должна предотвращать фильтрацию через них воды. При слабоводопроницаемых грунтах применяют облицовку из железобетонных плит или слоя асфальтобетона. При сильноводопроницаемых грунтах по подготовке из бетона укладывают слой гидроизоляции из асфальтовой мастики, или слой гидроизола на клебемассе, или слой битумных матов. Гидроизоляцию защищают сверху бетонными или железобетонными плитами.

Вокруг бассейна устраивают асфальтированную площадку шириной 3—5 м с уклоном в сторону бассейна.

При размещении брызгального устройства над водоемом вблизи берега береговой откос во избежание его размыва следует планировать и укреплять.

§ 151. ГРАДИРНИ

Необходимая для охлаждения воды площадь поверхности ее соприкосновения с воздухом создается в градирнях на оросительных устройствах (оросителях), которые могут быть капельными, пленочными или комбинированными. Имеются градирни без оросителей, в которых над водосборными бассейнами внутри башни устанавливаются высоконапорные разбрызгивающие сопла. Эти так называемые брызгальные градирни менее эффективны, чем градирни с капельным или пленочным оросителем, поскольку площадь поверхности контакта воды с воздухом в них относительно меньше.

Ороситель называется поперечноточным, если воздух проходит через него горизонтально — поперек стекающих вниз пленок или падающих капель воды, и противоточным, если воздух движется в нем вверх — навстречу стекающей воде.

Водораспределительные и оросительные устройства градирен. Охлаждаемая вода распределяется над оросителем градирни по системе деревянных или железобетонных лотков, в дне которых имеются отверстия со вставленными в них трубочками (гидравлическими насадками). Струи воды, вытекающие из насадков, падают на разбрызгивающие тарелочки, образуя фонтаны брызг, орошающие расположенный ниже ороситель. Гидравлические насадки и тарелочки изготовляют из фарфора или пластмассы. Их располагают над оросителем с таким расчетом, чтобы факелы брызг, создаваемых соседними тарелочками, перекрывали друг друга, что достигается при расстоянии между ними 1—1,25 м. Применяют также напорное водораспределительное устройство из нержавеющих труб, например асбестоцементных. В этом случае вода разбрызгивается над оросителем с помощью специальных низконапорных сопл.

Капельный ороситель состоит из большого числа деревянных реек треугольного или прямоугольного сечения, расположенных горизонтальными ярусами (рис. VII.11, *а*). При падении капель воды с верхних реек на нижние образуются факелы мелких брызг, создающие большую поверхность соприкосновения с воздухом.

Пленочный ороситель состоит из щитов, устанавливаемых вертикально (рис. VII.11, *б*) или под небольшим углом к вертикали. По поверхности щитов стекает вода, образуя пленку толщиной 0,3—0,5 мм. Щиты выполняют из отдельных досок, располагаемых горизонтально на

некотором расстоянии друг от друга. Применяют и сплошные щиты из хорошо смачивающихся материалов, например асбестоцементные прессованные листы толщиной 6—8 мм. Для создания сплошной пленки на нижней кромке щита делают треугольные вырезы (фестоны), сосредоточивающие стекающую воду в отдельные струйки, которые как бы растягивают пленку по поверхности щита. При стекании пленки со щитов отдельными струйками уменьшается сопротивление проходу воздуха под оросителем.

Применяют также оросители комбинированные капельно-пленочные (рис. VII.11, *в*).

При конструировании оросителя следует стремиться к уменьшению сопротивления движению воздуха, так как это дает возможность увеличить расход воздуха через градирню и, следовательно, интенсифицировать охлаждение в ней воды. В этом смысле пленочный ороситель предпочтительнее капельного, так как он оказывает меньшее сопротивление движению воздуха, однако для его изготовления требуется бо́льший расход материалов.

Постоянный контакт с текущей теплой водой и влажным воздухом приводит к быстрому износу деревянных конструкций оросителей, поэтому срок их службы невелик и требуются частые ремонты.

В настоящее время широкое распространение получили оросители градирен, выполняемые из плоских или волнистых асбестоцементных листов с несущим каркасом из сборных железобетонных конструкций.

Изыскиваются и испытываются новые материалы, в частности пластмассы.

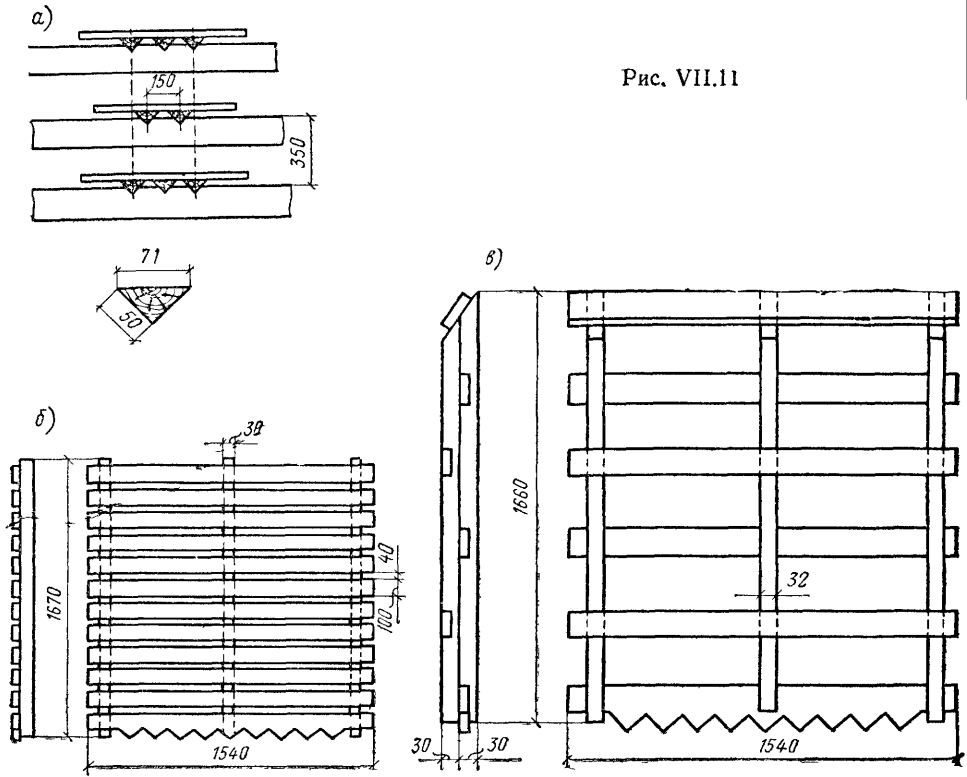


Рис. VII.11

При эксплуатации градирен в зимнее время возникают трудности в связи с обледенением участков оросителей, расположенных вблизи воздуховходных окон градирен. Обледенение может привести к обрушению оросителя из-за дополнительных нагрузок от образовавшегося льда. Во избежание обледенения уменьшают поступление воздуха в градирню в зимнее время, для чего перед воздуховходными окнами устанавливают навесные или поворотные щиты. Применяют также обливание расположенных вблизи воздуховходных окон участков оросителя теплой водой, которая подводится по специальному трубопроводу, оборудованному разбрызгивающими соплами.

Тепловой и аэродинамический расчет градирен. Вода охлаждается в градирне, отдавая тепло воздуху за счет теплопередачи и испарения. Коэффициенты теплоотдачи определяются на основании исследований, проводимых на опытных установках, и для удобства расчетов условно относятся к единице объема оросителя. Эти объемные коэффициенты теплоотдачи зависят от скорости движения воздуха в оросителе и конструкции оросителя.

Теоретический метод теплового расчета градирни был предложен инж. В. В. Проскуряковым. При расчете по этому методу оросительное устройство разбивается на участки сечениями, перпендикулярными направлению движения воздуха. Для каждого участка, начиная с нижнего, определяется изменение температуры воды и состояния воздуха (его температуры и влажности) путем подсчета количества тепла, переданного водой воздуху соприкосновением и за счет испарения.

Если расход воздуха через градирню неизвестен, то расчет проводится для нескольких значений скорости движения воздуха в оросителе. Действительную скорость движения воздуха в этом случае находят путем сопоставления аэродинамического сопротивления градирни и тяги воздуха.

Общее сопротивление движению воздуха в градирне (аэродинамическое сопротивление) складывается из сопротивления в воздуховход-

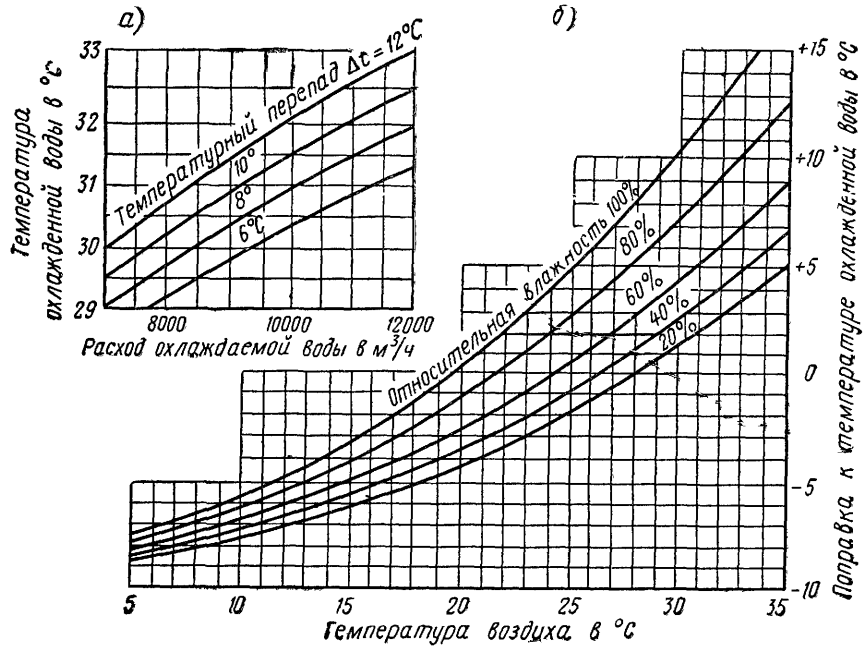


Рис. VII.12

ных окнах, в оросительном и водораспределительном устройствах и на выходе из градирни. Оно может быть определено по формуле

$$h = \xi \frac{v_{ср}^2 \gamma_{ср}}{2g} \approx \xi \frac{v_{ср}^2}{16},$$

где h — аэродинамическое сопротивление градирни в кгс/м²;

ξ — коэффициент общего аэродинамического сопротивления градирни, отнесенный к скорости движения воздуха в среднем сечении оросителя (брутто);

$v_{ср}$ — скорость движения воздуха в среднем сечении оросителя (брутто, без учета стеснения сечения конструкциями) в м/с;

$\gamma_{ср}$ — средний удельный вес воздуха в оросителе в кгс/м³.

Величина тяги в вентиляторных градирнях определяется характеристикой вентиляторов. В башенных градирнях она вычисляется по формуле

$$z = (H_б + 0{,}5\,H_{ор})(\gamma_1 - \gamma_2),$$

где z — сила тяги в кгс/м²;

$H_б$ — высота вытяжной башни над оросителем в м;

$H_{ор}$ — высота оросителя в м;

γ_1 — удельный вес наружного воздуха в кгс/м³;

γ_2 — удельный вес воздуха, выходящего из градирни, кгс/м³.

На основе подобных расчетов составляют графики зависимости температуры охлажденной на градирнях воды от тепловой и гидравлической нагрузок и различных метеорологических условий. Эти графики, уточненные затем путем проведения натурных наблюдений, используют при практических расчетах. В качестве примера на рис. VII.12, *а* дан график для определения температуры охлажденной воды на гиперболической градирне с комбинированным оросителем при температуре воздуха 25° С и его относительной влажности 54%, а на VII.12, *б* — вспомогательный график для внесения поправок к температуре охлажденной воды при других параметрах воздуха.

Открытые градирни. Открытые градирни бывают двух типов: брызгальные и с капельным оросителем.

Первые представляют собой небольшой брызгальный бассейн, огражденный со всех сторон жалюзийными решетками, препятствующими большому выносу брызг воды за пределы градирни. Разбрызгивающие сопла небольшой производительности располагаются на высоте 4—5 м над уровнем воды в резервуаре и направлены вниз. Плотность орошения для таких градирен принимают от 1,5 до 3 м³/ч на 1 м² (рис. VII.13).

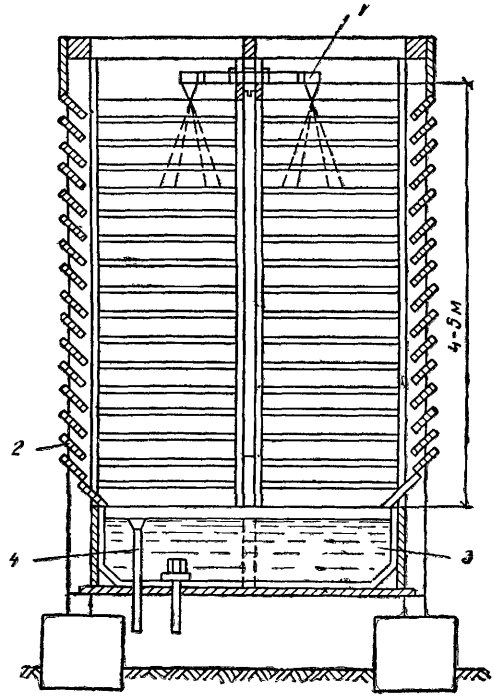


Рис VII 13

1 — разбрызгивающие сопла, *2* — жалюзийная решетка; *3* — бассейн, *4* — переливная труба

Открытые градирни капельного типа имеют ороситель из деревянных брусков, заключенный в жалюзийные стенки, которые выполняются из щитов, устанавливаемых под углом 45° к вертикали. Водораспределительное устройство выполняется в виде лотков с гидравлическими насадками и разбрызгивающими тарелочками или в виде системы труб с соплами. Плотность орошения в таких градирнях принимается от 2 до 4 м³/ч на 1 м².

Башенные градирни. Вытяжные башни градирен служат для создания естественной тяги за счет разности удельных весов наружного воздуха, поступающего в градирню, и нагретого и увлажненного воздуха, выходящего из градирни.

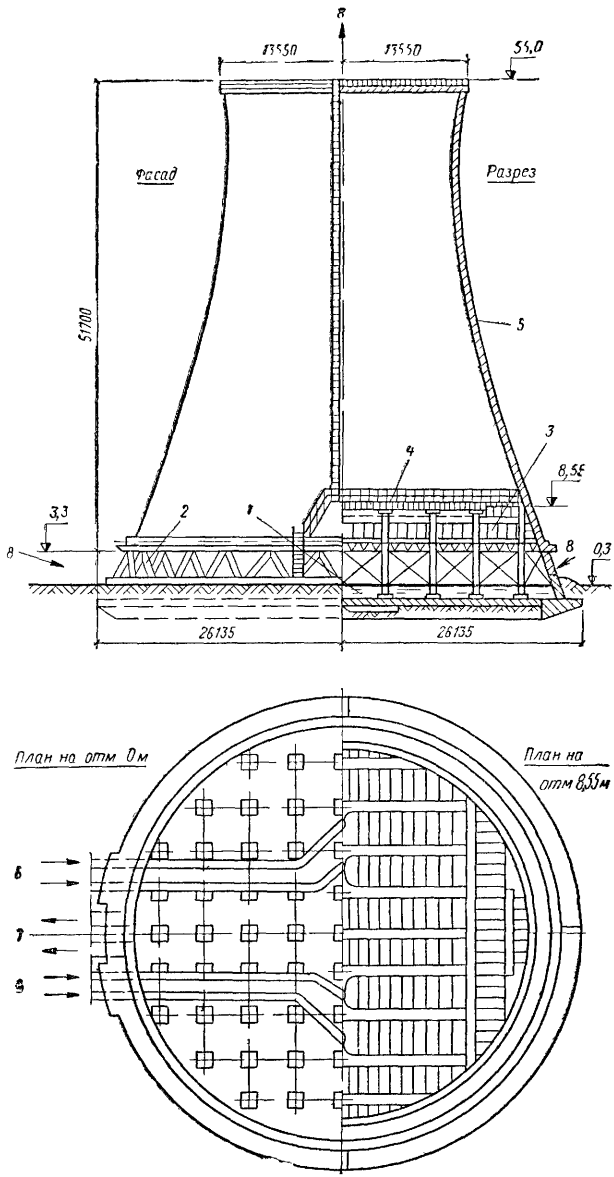


Рис. VII 14

1 — резервуар; *2*—железобетонная колоннада; *3* — пленочный ороситель; *4* — водораспределительное устройство; *5* — вытяжная железобетонная башня; *6* — подвод теплой воды по стальным трубам; *7*— отвод охлажденной воды по железобетонным каналам; *8* — направление потока воздуха

При противоточных оросителях вытяжные башни сооружаются над ними. Поперечноточные оросители располагаются кольцом вокруг башни.

Площадь сечения башни должна составлять не менее 30—40% площади оросителя.

Башни градирен малой и средней производительности могут быть цилиндрическими или иметь форму усеченного конуса либо усеченной многогранной пирамиды.

Башни крупных градирен выполняются, как правило, в виде оболочек гиперболической формы (рис. VII.14), которая наиболее рациональна по условиям устойчивости и внутренней аэродинамики.

В зимнее время башни градирен находятся в тяжелых условиях воздействия влажного теплого воздуха на внутреннюю поверхность оболочки и морозного воздуха с наружной стороны. Поэтому к материалам, из которых сооружаются башни и их конструкции, предъявляются высокие требования.

В настоящее время применяются два основных технических решения: каркасно-обшивные и железобетонные монолитные башни.

В первых каркас выполняется из стальных элементов на сварке, а обшивка — из деревянных щитов, асбестоцементных волнистых листов или коррозионно-устойчивого листового алюминия. Деревянные щиты пропитываются антисептиками и антипиренами. Асбестоцементные листы пропитываются парафино-стеариновой эмульсией, а стыки между ними уплотняются битумной мастикой. Листовой алюминий крепится к каркасу на болтах с неметаллическими прокладками.

Тонкостенные оболочки железобетонных башен возводятся с применением переставной опалубки, которая перемещается с одного яруса бетонирования на другой с помощью специальных подъемных приспособлений.

В последние годы для возведения железобетонных оболочек стала применяться скользящая опалубка, которая обеспечивает скоростное строительство башен. Бетон подается бетононасосами или шахтными подъемниками и укладывается в оболочку с переставных подмостей, устраиваемых по окружности башни с внутренней стороны.

К качеству бетона предъявляются повышенные требования по плотности и морозостойкости. Внутренняя поверхность оболочки покрывается гидроизоляцией.

Башня обычно опирается на рамную конструкцию (колоннаду), между стойками которой проходит воздух, поступающий в градирню.

Внизу под оросителем градирни устраивается водосборный резервуар, выполняемый из монолитного железобетона с гидроизоляцией внутренней поверхности. Резервуар оборудуется трубопроводом с воронкой для перелива излишков воды, а также выпуском для его опорожнения.

Подлежащая охлаждению вода подается в водораспределительное устройство по стоякам, размещаемым обычно в центре градирни. Часто в связи с неравномерным распределением воздуха по площади противоточного оросителя применяют и дифференцированную плотность орошения, увеличивая гидравлическую нагрузку на периферии и уменьшая ее в центральной части оросителя. Зимой при снижении гидравлической нагрузки орошение центральной части полностью отключают.

В настоящее время в СССР широко применяются противоточные градирни производительностью до 30 000 м^3/ч с гиперболическими башнями высотой до 100 м, выполняемыми из железобетона или металлического каркаса, обшитого алюминием. Оросители этих градирен площадью до 4000 м^2, как правило, монтируются из асбестоцементных

листов, устанавливаемых на каркасе из сборных железобетонных конструкций.

Запроектированы градирни производительностью 50 000 м³/ч с площадью оросителя 6000 м² и высотой башни 135 м.

Вентиляторные градирни. Имеются два основных типа вентиляторных градирен: башенные, оборудованные вентиляторами большой производительности с использованием естественной тяги воздуха, и секцион-

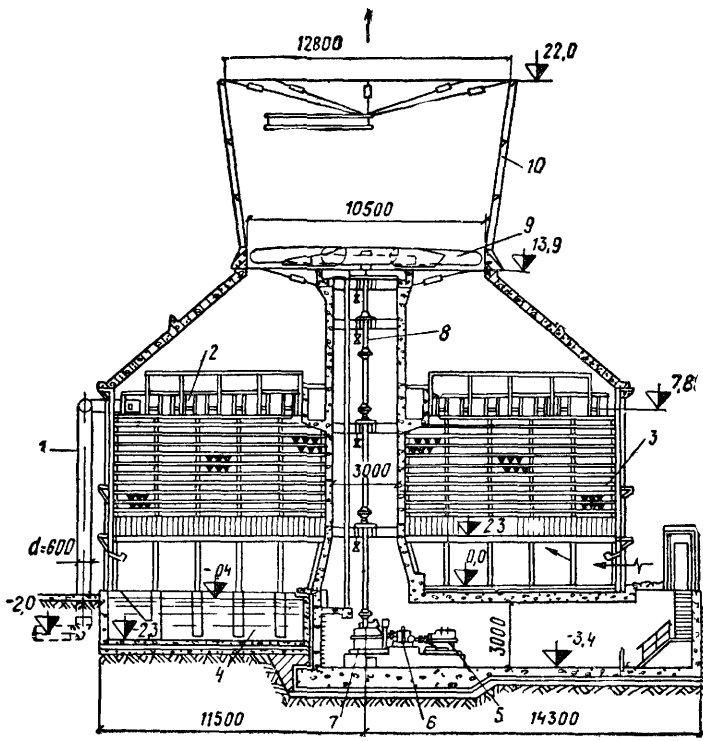


Рис VII 15

1 — водоподводящая труба, *2*—водораспределительное устройство *3* — капельно-пленочный ороситель *4* — водосборный бассейн; *5* — электродвигатель вентилятора, *6* — гидромуфта, *7* — редуктор; *8* — вертикальный вал вентилятора; *9* — лопасти вентилятора, *10* —вытяжная башня

ные, состоящие из ряда стандартных секций, каждая из которых обслуживается отдельным вентилятором.

Для уменьшения уноса капель воды за пределы градирни, связанного с повышенными скоростями движения воздуха в ее оросителе, применяют водоуловительные жалюзийные решетки.

В горловине башен одновентиляторных градирен (рис. VII.15) над оросителем устанавливают большие вентиляторы с диаметром лопастей от 10 до 18 м. Вентиляторы приводятся в действие электродвигателем через редуктор и гидромуфту, служащую для изменения частоты вращения вентилятора. Снижением частоты вращения при благоприятных метеорологических условиях достигается сокращение расхода электроэнергии на привод вентиляторов.

Технологические процессы некоторых предприятий (например, химических цехов) требуют стабильной температуры охлаждающей воды. В этих случаях на линиях труб охлаждающей воды устанавливают термопары, воздействующие через специальное реле на масляный насос, подающий масло в гидромуфту. Это дает возможность автоматически

регулировать частоту вращения вентиляторов и, следовательно, расход воздуха через градирню, поддерживая, таким образом, температуру охлаждающей воды на заданном уровне

Секционные вентиляторные градирни состоят из нескольких прямоугольных стандартных секций, в которые воздух входит с одной стороны или с двух сторон. Каждая секция оборудуется отсасывающим или нагнетательным вентилятором с лопастями диаметром до 10 м и электроприводом. Вентиляторы отсасывающего типа, которые устанавли-

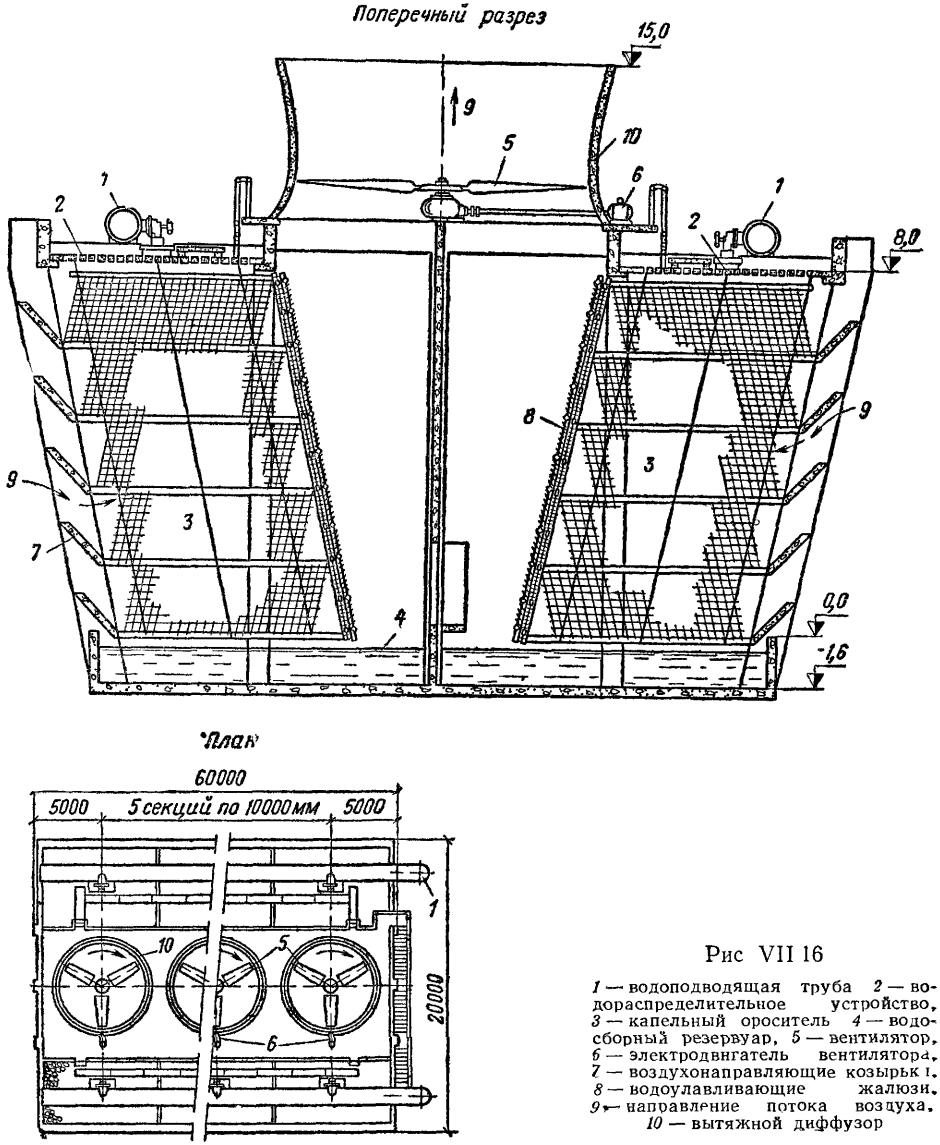


Рис VII 16

1 — водоподводящая труба *2* — водораспределительное устройство, *3* — капельный оросительь *4* — водосборный резервуар, *5* — вентилятор, *6* — электродвигатель вентилятора, *7* — воздухонаправляющие козырьки, *8* — водоулавливающие жалюзи, *9* — направление потока воздуха, *10* — вытяжной диффузор

ваются над оросителем, обеспечивают более равномерное распределение воздуха в оросителе и, находясь в зоне теплого воздуха, не обмерзают в зимнее время. Нагнетательные вентиляторы устанавливаются на входном отверстии градирни у ее основания.

На рис. VII.16 показана вентиляторная шестисекционная градирня с капельным оросителем, оборудованная отсасывающими вентилятора-

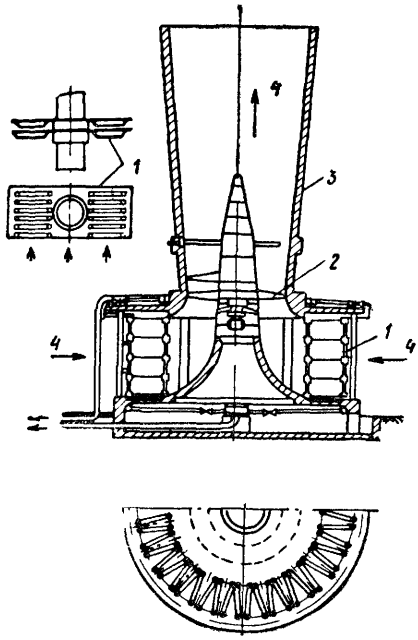


Рис. VII 17

1 — радиаторы; *2* — вентилятор; *3* — диффузор, *4* — направление потока воздуха

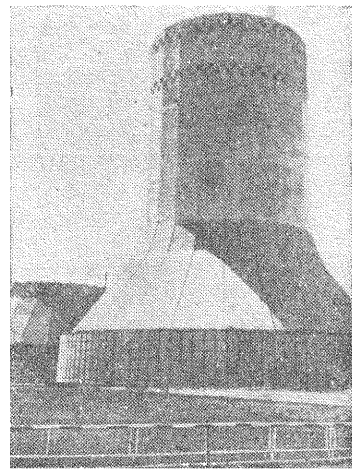


Рис. VII.18

ми с диаметром лопастей 7 м. Размер каждой секции в плане 12×12 м. Производительность градирни 12 000 м³/ч охлаждаемой воды. Смазка вентиляторов осуществляется смазочным агрегатом, установленным в специальном помещении вблизи градирни.

Радиаторные охладители. За последние годы в связи с растущим дефицитом пресной воды во многих промышленно развитых районах начали получать распространение радиаторные охладители, так называемые сухие градирни. В них охлаждаемая вода не имеет непосредственного контакта с воздухом, поэтому не происходит ее потерь на испарение и на унос капель воздушным потоком, которые имеют место в испарительных охладителях.

Удачная конструкция радиаторов в виде охлаждающих колонн, состоящих из алюминиевых трубок диаметром 15 мм с насаженными на них общими штампованными алюминиевыми ребрами толщиной 0,3 мм, разработана доктором Форго (Венгерская Народная Республика). Эти радиаторы изготовляются стандартных размеров (2,5×5 м) и устанавливаются в воздуховходных окнах сухой градирни.

Передача тепла от воды к воздуху происходит через стенку трубок и насаженные на трубки ребра при относительно низком коэффициенте теплопередачи, поэтому требуется большая поверхность теплопередачи. В связи с малой теплоемкостью воздуха требуется большой его расход.

Общая поверхность радиаторов (трубок и ребер), необходимая для охлаждения заданного расхода воды, определяется по формуле

$$F_р = \frac{Q(t_1 - t_2)}{\alpha_р (t_{ср} - \theta_{ср})},$$

где

Q — расход охлаждаемой воды в м³/ч;

t_1 — температура воды на входе в радиаторный охладитель в °С;

t_2 — температура охлажденной воды в °С;

$\alpha_р$ — коэффициент теплопередачи через стенки трубок и ребра радиаторов, отнесенный к общей площади трубок и ребер, в ккал/(м²·ч·°С);

$t_{ср}=(t_1+t_2)/2$ — средняя температура воды в охладителе в °С;

$\theta_{ср}=(\theta_1+\theta_2)/2$ — средняя температура воздуха в охладителе (здесь θ_1 — температура атмосферного воздуха на входе в охладитель в °С; θ_2 — температура воздуха, выходящего из охладителя, в °С).

Коэффициент теплопередачи $\alpha_р$ зависит от материала и конструкции радиаторов, а также от скорости движения воды в трубках и скорости движения воздуха, омывающего радиатор. Он определяется опытным путем.

Расход воздуха определяется по формуле

$$L=\frac{Q(t_1-t_2)}{c(\theta_2-\theta_1)},$$

где L — расход воздуха в кг/ч;

c — теплоемкость воздуха, которая может быть принята постоянной и равной 0,25 ккал/(кг·°С).

На рис. VII.17 показана в разрезе радиаторная градирня (системы Геллера), оборудованная вентилятором.

На рис. VII.18 показан радиаторный охладитель, примененный на одной из крупных тепловых электростанций СССР (высота башни 120 м).

§ 152. ПОТЕРИ ВОДЫ В ОХЛАДИТЕЛЯХ

При охлаждении воды в испарительных охладителях часть ее теряется вследствие испарения. Величина потерь воды на испарение определяется по формуле

$$q=k\Delta t,$$

где q — количество испарившейся воды в процентах от циркуляционного расхода;

k — коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи испарением в общем процессе теплопередачи в охладителе; значения коэффициента k можно принимать по табл. VII.2;

Δt — перепад температур в °С.

Кроме потерь циркуляционной воды на испарение некоторое ее количество уносится вместе с воздухом за пределы охладителя. Потери на унос в процентах от циркуляционного расхода приведены в табл. VII.3.

Таблица VII.2

Сезон года	Коэффициент k	
	для водохранилищ-охладителей	для брызгальных бассейнов и градирен
Лето	0,1—0,13	0,13—0,15
Весна и осень	0,08—0,09	0,11—0,12
Зима	0,06—0,07	0,09—0,1

Таблица VII.3

Тип охладителей	Потери воды в %	Тип охладителей	Потери воды в %
Брызгальные бассейны производительностью в м³/ч:		Градирни:	
		открытые и брызгальные	0,5—1,5
до 500	2—3	башенные	0,5—1
более 500	1,5—2	вентиляторные (при наличии водоуловителей)	0,3—0,5

§ 153. ВОДНЫЙ РЕЖИМ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В результате испарения в охладителях части воды повышается концентрация минеральных солей, растворенных в циркуляционной воде систем оборотного водоснабжения. При определенных концентрациях растворенные в воде соли временной жесткости (главным образом карбонат кальция $CaCO_3$) могут выпадать из нее в теплообменных аппаратах, что резко снижает коэффициент теплопередачи теплообменной аппаратуры и ухудшает ее эксплуатационные показатели. Для предотвращения выпадения солей жесткости производится постоянная продувка системы оборотного водоснабжения, т. е удаление из нее части циркуляционной воды.

Потери воды на продувку, унос и испарение должны быть компенсированы подачей в систему свежей (добавочной) воды.

Солевое содержание циркуляционной воды стабилизируется, если количество солей, удаляемых из системы при продувке и в результате уноса воды из охладителей, будет равно количеству солей, приносимых с добавочной водой:

$$C_{доб}(p_1 + p_2 + p_3) = C_{цирк}(p_2 + p_3),$$

где $C_{доб}$ и $C_{цирк}$ — концентрация солей жесткости соответственно в добавочной и циркуляционной воде в мг-экв/л;

p_1 — потери воды на испарение в охладителях в %;

p_2 — потери воды на унос с воздухом в %;

p_3 — потери воды, сбрасываемой для продувки системы (продувочный расход), в %.

Если концентрацию солей жесткости в циркуляционной системе принять максимально допустимой[1], то из приведенного равенства определится минимально необходимый продувочный расход:

$$p_3 = \frac{C_{доб}\,P}{C_{цирк.макс}} - p_2,$$

где $P = p_1 + p_2 + p_3$ — суммарный расход добавочной воды в % от расхода циркуляционной воды.

Продувка системы эффективна лишь в том случае, когда жесткость добавочной воды значительно ниже жесткости, допустимой по условию невыпадения солей при нагревании циркуляционной воды в теплообменной аппаратуре. В противном случае потребуется настолько большой расход добавочной воды, что подача ее окажется неэкономичной и выгоднее будет применить химическую обработку воды (фосфатирование, подкисление, умягчение или рекарбонизацию).

Кроме солей жесткости в трубках теплообменных аппаратов могут отлагаться продукты кислородной коррозии, механические взвеси и биологические организмы, содержащиеся в воде, что также резко снижает коэффициент теплопередачи трубок. Поэтому необходимо принимать меры по предотвращению проникания в теплообменные аппараты механических и биологических загрязнений.

Очистка поступающей в систему добавочной воды от механических примесей осуществляется, как правило, с помощью сеток, а иногда с помощью отстойников, механических или песчаных фильтров.

Сравнительно высокая в течение всего года температура циркуляционной воды в системах оборотного водоснабжения с градирнями или брызгальными бассейнами создает благоприятные условия для разви-

[1] Методика определения максимально допустимой концентрации солей жесткости в циркуляционной воде приведена в СНиП II-Г.3-62, п. 5.

тия поступающих вместе с добавочной водой организмов, таких, как грибки (плесени), водоросли, бактерии (железобактерии, серобактерии) и др. Эти организмы отлагаются и развиваются в трубках теплообменников, а также в водоводах и на оросителях градирен.

Для борьбы с биологическим обрастанием применяют обработку циркуляционной воды хлором. Хлорирование ведется периодически по 30 мин с интервалами в 3—12 ч дозами от 1,5 до 7,5 мг/л в зависимости от качества воды.

Для борьбы с обрастанием водорослями воду обрабатывают медным купоросом 2—3 раза в месяц по 1—2 ч дозами от 4 до 6 мг/л.

Для борьбы с бактериальным обрастанием одновременно с введением медного купороса проводят дополнительное хлорирование воды дозами 2 мг/л при продолжительности хлорирования 30—40 мин.

В системах оборотного водоснабжения с водохранилищами-охладителями биологическое загрязнение трубок теплообменных аппаратов связано с проникание в трубки планктонных водорослей («цветение» воды). Наблюдения показывают, что цветение воды распространяется на глубину до 2—3 м от поверхности, поэтому для предотвращения или ослабления биологического загрязнения трубок теплообменных аппаратов следует организовывать забор охлажденной воды из водохранилища с глубины более 3 м.

Водный баланс водохранилища-охладителя определяется притоком или подкачкой в него свежей воды, фильтрацией через ложе пруда, тело плотины и неплотности затворов, естественным испарением, дополнительным испарением от подогрева циркуляционной воды и безвозвратными отборами на промышленные и питьевые нужды.

Указания о подсчетах размеров естественного испарения и фильтрации приводятся в специальных курсах.

При проектировании водохранилища-охладителя составляется прогноз его солевого режима. Если водохранилище непроточное или слабопроточное, приходится во избежание недопустимого увеличения минерализации воды осуществлять его продувку. Рационально сбрасывать в целях продувки часть воды из глубинных наиболее минерализованных слоев водохранилища.

§ 154. ВЫБОР ТИПА ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Выбор типа охладителей производится путем технико-экономического сравнения различных типов с учетом показателей работы снабжаемого водой оборудования и требований технологических процессов промышленных предприятий к температуре охлаждающей воды. При сравнении учитываются также гидрологические, метеорологические, геологические и топографические условия, качество и стоимость добавочной воды, наличие строительных материалов.

Ниже рассматриваются некоторые характерные особенности охладителей, облегчающие выбор их типа.

Водохранилища-охладители. Охлаждение циркуляционной воды в водохранилищах применяется преимущественно при возможности использования для этой цели естественных водоемов или водохранилищ общего назначения. Если их нет, следует проверить технико-экономическую целесообразность создания специальных водохранилищ-охладителей на водотоках или наливных водохранилищ (вне водотоков), питаемых из внешних источников.

Водохранилища-охладители обеспечивают в течение всего года

более низкие температуры охлаждающей воды, чем брызгальные бассейны и градирни с естественной тягой, а в зимние и весенне-осенние месяцы даже более низкие температуры, чем вентиляторные градирни.

Так как водохранилища-охладители являются одновременно регуляторами поверхностного стока, они могут обеспечить надежное оборотное водоснабжение мощных тепловых электростанций и крупных промышленных предприятий даже при незначительных водных ресурсах.

Водохранилища-охладители просты в эксплуатации даже в зимнее время, когда эксплуатация охладителей других типов осложняется из-за их обмерзания. При их применении нет необходимости подавать воду на значительную высоту, как при применении градирен, или создавать напор для разбрызгивания воды, как при применении брызгальных бассейнов, что сокращает расход электроэнергии на привод циркуляционных насосов.

Создание специальных водохранилищ-охладителей требует наличия большой площади и значительных капитальных затрат на сооружение плотины и подготовку ложа водохранилища. Кроме того, большие затраты необходимы при сносе строений и занятии сельскохозяйственных угодий. В то же время водохранилища-охладители могут быть использованы для разведения рыбы, орошения, водного транспорта и т. п.

Брызгальные устройства. Брызгальные бассейны требуют сравнительно небольших затрат на их сооружение и просты в эксплуатации. Однако они обладают весьма низкой охлаждающей способностью, особенно в районах со слабыми ветрами и продолжительными штилями в летнее время. Для их размещения требуются большие спланированные площадки.

Потери воды в брызгальных бассейнах больше, чем в градирнях, из-за значительного уноса брызг ветром.

Брызгальные бассейны применяют как основные охладители в системах оборотного водоснабжения при условии, когда не требуется низкой и постоянной температуры охлаждающей воды.

В качестве дополнительных охладителей их размещают над водохранилищами-охладителями для постоянной или периодической работы в жаркие периоды в целях снижения температуры охлаждающей воды.

Брызгальные устройства могут применяться также для частичного охлаждения воды, сбрасываемой от промышленного предприятия в реку или водохранилище общего назначения, с целью уменьшения «теплового загрязнения» водоема.

Открытые градирни. Открытые брызгальные градирни обычно применяют при небольших расходах охлаждаемой воды — до 300 м^3/ч. Они могут размещаться даже на крышах зданий, например в системах кондиционирования воздуха.

Их недостатком является низкий охладительный эффект, который, так же как и в брызгальных бассейнах зависит от силы ветра. Открытые капельные градирни обладают несколько большей охладительной способностью и применяются для расходов воды до 1000 м^3/ч, например при водоснабжении дизельных и компрессорных установок, которые не требуют постоянства температуры охлаждающей воды.

Башенные градирни. Башенные градирни благодаря тяге воздуха, создаваемой башней, обеспечивают более устойчивое охлаждение и более низкие температуры воды, чем открытые градирни и брызгальные бассейны. Допуская большую плотность орошения, они могут быть компактно размещены на площадке промышленного предприятия. Наличие высоких башен позволяет размещать их на небольших расстояниях от производственных зданий и сооружений.

Башенные градирни могут применяться для охлаждения как малых, так и больших расходов воды; запроектированы градирни производительностью до 50 000 м³/ч.

Недостатками башенных градирен являются высокая строительная стоимость и сложность их сооружения.

Если на градирнях охлаждается чистая вода, наиболее экономично применение оросителя пленочного типа. При наличии в охлаждаемой воде взвесей и нефтепродуктов пленочные оросители не рекомендуются из-за возможности засорения промежутков между щитами. В таких случаях приходится применять капельные оросители, хотя они допускают гидравлическую нагрузку, примерно в 1,5 раза меньшую, чем пленочные, при том же охладительном эффекте.

Вентиляторные градирни. Вентиляторные градирни обеспечивают наиболее глубокое и устойчивое охлаждение воды.

В летнее время они охлаждают воду до температур, более низких, чем охладители других типов. При применении вентиляторных градирен возможно регулирование температуры охлаждающей воды путем изменения числа оборотов или отключения отдельных вентиляторов.

По сравнению с башенными вентиляторные гридирни имеют обычно меньшую строительную стоимость и допускают большую плотность орошения, что позволяет еще более компактно размещать их на площадках промышленных предприятий.

Однако работа вентиляторов требует большого расхода электроэнергии, а эксплуатация механического и электрического оборудования вентиляторных градирен довольно сложна. Кроме того, отсутствие у вентиляторных градирен высоких башен приводит к тому, что увлажненный воздух из градирен распространяется низко над землей, образуя туман и вызывая обледенение окружающих предметов. Поэтому применение вентиляторных градирен оказывается экономически целесообразным лишь в случае, когда технологические процессы предприятий требуют низкой и стабильной температуры охлаждающей воды, а также в районах с жарким и влажным климатом.

Радиаторные охладители. Применение радиаторных охладителей (сухих градирен) дает возможность сократить до минимума потери воды на промышленном предприятии. Качество охлаждаемой в них воды не изменяется, как это имеет место в испарительных охладителях, где наряду с повышением минерализации воды происходит ее загрязнение пылью и газами, содержащимися в воздухе.

Однако сухие градирни по сравнению с испарительными требуют в несколько раз большего расхода воздуха, поэтому их габариты значительно больше, а стоимость выше, чем у испарительных градирен. Кроме того, в летние жаркие дни они не могут охладить воду до таких низких температур, какие могут обеспечить испарительные охладители. Поэтому применение сухих градирен может быть оправдано только в тех случаях, когда подача добавочной воды для испарительных охладителей невозможна или обходится слишком дорого.

Глава 31

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

§ 155. КОНДЕНСАТОРЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Тепловая энергетика производит 85% всей вырабатываемой в нашей стране электроэнергии и развивается за счет ввода в действие мощных электростанций с крупными энергоблоками, работающими на

высоких и сверхвысоких параметрах пара: давление 130—240 кгс/см², температура 535—565° С.

В настоящее время действуют конденсационные электростанции (ГРЭС) мощностью 3000 МВт с энергоблоками по 200, 300 и 800 МВт каждый.

Введены в действие головные образцы энергоблоков мощностью 500 и 800 МВт, проектируется блок 1200 МВт. В IX пятилетке развернулось строительство ГРЭС мощностью 3600 МВт и атомных электростанций мощностью 2000 МВт.

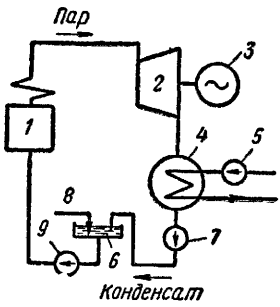


Рис. VII.19

Теплофикационные станции (ТЭЦ) в крупных городах оборудуются турбинами по 100 и 250 МВт, мощность ТЭЦ достигает 1000 МВт.

Электрические генераторы, с помощью которых механическая энергия превращается в электрическую, приводятся в действие паровыми или газовыми турбинами. Электрические генераторы небольшой мощности (до 1000 кВт) могут приводиться в действие двигателями внутреннего сгорания.

Пар для паровых турбин вырабатывается в котлах, где сжигают уголь, торф, газ или нефтепродукты. На атомных электростанциях роль котлов выполняют атомные реакторы.

Схема простейшей конденсационной электростанции показана на рис. VII.19. Из парового котла *1* пар поступает в турбину *2*, которая приводит в действие электрический генератор *3*. Отработанный пар после турбины направляется в конденсатор *4*, в который подается также охлаждающая вода циркуляционным насосом *5*, в результате чего происходит конденсация пара. Конденсат перекачивается в бак *6* питательной воды конденсатным насосом *7*. В этот же бак подается добавочная химически очищенная или обессоленная вода *8* для восполнения потерь. В паровой котел вода подается из бака *6* питательным насосом *9*.

Коэффициент полезного действия турбины можно увеличить, повысив температуру и давление пара, поступающего в турбину, или снизив температуру и давление насыщенного пара на выходе из турбины. Последнее достигается путем конденсации выходящего из турбины пара, которая происходит в установленном для этой цели конденсаторе при подаче в него охлаждающей воды.

Поверхностный конденсатор состоит из пучков трубок диаметром 17—25 мм, длиной в несколько метров, которые выполняются из металлов, хорошо проводящих тепло (латунь, мельхиор). Концы трубок ввальцованы в металлические трубные доски, помещенные в корпусе конденсатора, который представляет собой металлическую емкость. Пространства между трубными досками и торцами корпуса образуют водяные камеры. В одноходовых конденсаторах вода поступает в переднюю водяную камеру, проходит через трубки и выходит в заднюю камеру, из которой отводится сливными трубами. В двухходовых конденсаторах вода дважды проходит по длине корпуса и отводится из передней камеры. В трехходовых конденсаторах вода проходит корпус три раза.

Выходящий из турбины пар поступает в паровое пространство конденсатора, заключенное между трубными досками, и конденсируется на внешней поверхности трубок, внутри которых проходит охлаждающая вода. Сконденсировавшийся пар (конденсат) собирается в нижней

части корпуса конденсатора и отводится конденсатным насосом для повторного использования.

В тех случаях, когда пар не подлежит повторному использованию, например на геотермальных электростанциях, турбины оборудуются конденсаторами смешивающего типа. В них охлаждающая вода разбрызгивается при помощи специальных сопл; выходящий из турбины пар конденсируется на поверхности брызг и смешивается с охлаждающей водой.

Такие конденсаторы применяются также при использовании на тепловых электростанциях воздушно-конденсационных установок системы проф. Геллера (Венгерская Народная Республика). В этой установке в конденсатор смешивающего типа подается от радиаторного охладителя (сухой градирни) химически очищенная охлаждающая вода. После смешивания в конденсаторе с выходящим из турбины паром она нагревается и снова направляется на сухую градирню; небольшая часть этой химически очищенной воды направляется в котел. Главным преимуществом установки системы Геллера является почти полное отсутствие потерь воды.

Давление пара на выходе из турбины зависит от температуры, при которой происходит его конденсация. Чем ниже температура охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор, тем ниже давление пара, выходящего из турбины (глубже вакуум в конденсаторе).

Зависимость давления в конденсаторе и к. п. д. турбины от температуры конденсации пара характеризуется цифрами, приведенными в табл. VII.4.

Таблица VII 4

Показатели	Температура конденсации пара в °С				
	100	60	40	30	25
Давление в конденсаторе в кгс/см²	1,033	0,203	0,075	0,043	0,032
Вакуум в конденсаторе в % от абсолютного вакуума	—	79,7	92,5	95,7	96,8
Термический к. п. д. турбины	0,325	0,38	0,408	0,422	0,429

Из табл. VII 4 видно, что снижение температуры конденсации выходящего из турбины пара на 10° (с 40 до 30° С) и связанное с этим углубление вакуума на 3,2% приводит к повышению термического к. п. д турбины на 1,4%, что равносильно увеличению мощности турбины примерно на 2,7% при том же расходе пара и топлива.

Температура, при которой происходит конденсация выходящего из турбины пара, определяется по формуле

$$t_к = t_2 + \Delta t + \delta t,$$

где $t_к$ — температура конденсации отработавшего в турбине пара в °С;
t_2 — температура охлаждающей воды после конденсатора в °С;
Δt — температурный перепад в °С, равный $t_2 - t_1$ (здесь t_1 — температура охлаждающей воды перед конденсатором);
δt — температурный напор конденсатора в °С.

Из формулы следует, что температура охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор, непосредственно влияет на температуру конденсации отработавшего в турбине пара и, следовательно, на глубину вакуума в конденсаторе и к. п. д. турбины. Кроме того, при повышении температуры охлаждающей воды сверх определенного значения снижа-

ется мощность, отдаваемая турбиной. Предельная температура охлаждающей воды, при которой турбина может работать на минимальную мощность, принимается обычно равной 33° С, а для турбин, изготовляемых для районов с тропическим климатом, —36—40° С.

Температурный перепад определяется из уравнения теплового баланса конденсатора

$$D_к(i_к - t_к) = Q_к \Delta t,$$

где $D_к$ — расход пара, поступающего в конденсатор;
$i_к$ — теплосодержание пара, поступающего в конденсатор;
$t_к$ — теплосодержание конденсата, численно равное его температуре;
$i_к - t_к$ — количество тепла, отдаваемое паром охлаждающей воде;
$Q_к$ — расход охлаждающей воды, поступающей в конденсатор.

Обозначая $Q_к/D_к$ через m, получим

$$\Delta t = \frac{i_к - t_к}{m}.$$

Величина m называется кратностью охлаждения. Ее увеличение приводит к повышению к. п. д. турбины, но требует в то же время увеличения расхода охлаждающей воды и электроэнергии на ее перекачку. Для двухходовых конденсаторов оптимальная кратность охлаждения принимается в зависимости от температуры охлаждающей воды и напора циркуляционных насосов от 30 до 70.

Величина температурного напора конденсатора зависит от коэффициента теплопередачи его трубок, на который огромное влияние оказывает состояние поверхности трубок — их чистота. На стенках трубок могут образовываться отложения механического, биологического и химического происхождения, что связано с качеством охлаждающей воды. В результате образования таких отложений коэффициент теплопередачи трубок резко падает, а температурный напор конденсатора возрастает. Например, наличие органических отложений толщиной всего 0,1 мм может привести к повышению температурного напора конденсатора на 10° С. Кроме того, отложения в трубках конденсаторов и циркуляционных трубопроводах увеличивают гидравлическое сопротивление системы.

Из сказанного следует, что хотя для охлаждения конденсаторов используется техническая вода, качество которой не нормируется, необходимо принимать все возможные меры по снижению ее температуры и улучшению качества.

§ 156. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Основными водопользователями на тепловой электростанции являются конденсаторы паровых турбин. Кроме них на электростанциях имеется целый ряд значительно более мелких теплообменных аппаратов, к которым подводится охлаждающая вода: воздухоохладители или газоохладители генераторов, воздухоохладители питательных электронасосов и возбудителей генераторов, маслоохладители систем смазки механизмов.

Каждый такой теплообменник представляет собой батарею латунных или мельхиоровых трубок, заключенную в металлический корпус. По трубкам циркулирует охлаждающая вода, а между трубками проходит охлаждаемый воздух, газ или масло.

Обмотки электрогенераторов охлаждаются воздухом или газом (водородом), который циркулирует в замкнутом цикле системы вентиляции и охлаждается водой в воздухо- или газоохладителях. Температура

подводимого к обмоткам генератора воздуха или газа не должна превышать 35—37° С во избежание снижения мощности генератора. Следовательно, охлаждающая вода, подаваемая в воздухо- или газоохладители, должна иметь температуру не выше 30—33° С. Поэтому в системах оборотного водоснабжения тепловых электростанций с градирнями в некоторых случаях предусматривается подача на воздухо- или газоохладители свежей воды, которая в летнее время имеет более низкую температуру, чем циркуляционная вода. Расход воды, подаваемой на воздухо- или газоохладители генераторов, составляет 1—2% общего расхода охлаждающей воды на электростанции.

Охлаждение турбинного масла, циркулирующего в системах смазки подшипников и регулирующих механизмов турбогенераторов, происходит в маслоохладителях. Расход воды, подаваемой на маслоохладители, составляет 1—1,5% общего расхода охлаждающей воды. Во избежание попадания воды в турбинное масло ее давление в маслоохладителе должно быть несколько меньше минимального давления масла.

Ввиду того что вода в воздухо-, газо- и маслоохладителях не загрязняется и нагревается лишь на 2—4°, она может быть повторно использована для охлаждения конденсаторов.

Иногда для охлаждения воздухо-, газо- и маслоохладителей применяют конденсат, который циркулирует в замкнутом контуре и охлаждается водой в специальном теплообменнике.

На тепловой электростанции вода расходуется также на охлаждение подшипников механизмов, на золоулавливание, гидравлическое удаление золы и шлаков, а также на обеспыливание трактов подачи дробленого и размолотого твердого топлива.

Расход воды на охлаждение подшипников питательных и конденсатных насосов, угольных мельниц, дымососов и других вспомогательных механизмов относительно невелик. Однако даже кратковременное прекращение подачи воды к подшипникам недопустимо.

Электростанции, работающие на твердом топливе, оборудуются установками для улавливания золы из дымовых газов. В некоторых случаях в качестве золоуловителей применяются мокрые скрубберы. Под действием центробежной силы частицы золы из закрученных спиралью дымовых газов сбрасываются на стенки скрубберов и смываются водой.

Удаление шлака из-под котлов и золы из золоуловителей на большинстве электростанций производится гидравлическим способом. Расход воды для этой цели зависит от вида топлива, способа его сжигания, механических свойств золы и шлака. Для нужд гидрозолоудаления используется вода, прошедшая через конденсаторы, а также вода, сбрасываемая после охлаждения подшипников, и другие сбросные воды.

На смыв 1 т шлака требуется от 20 до 40 м³ воды, на смыв 1 т золы — от 8 до 12 м³ воды. Шлак и зола, смешанные с водой (пульпа), транспортируются самотеком или с помощью побудительных сопл к багерным насосам, которые перекачивают пульпу по стальным трубам на золоотвалы. При раздельном удалении золы и шлаков золовая пульпа перекачивается шламовыми насосами. Если золоотвалы расположены значительно ниже котельной, возможно транспортирование пульпы к ним самотеком.

Золо- и шлакоотвалы проектируются как пруды-отстойники непрерывного действия. Они организуются, как правило, на неиспользуемых участках земли вблизи электростанции, например в оврагах. Пруд образуется путем перегораживания оврага земляной дамбой или обвалования равнинного участка. В этот пруд сбрасывается золовая пульпа. Зола и шлак осаждаются в пруде, постепенно его заполняя, а осветленная

вода возвращается в котельную электростанции с целью повторного использования для гидротранспорта золошлаков.

В институте Теплоэлектропроект разработан метод возведения ограждающих дамб распластанного профиля из золошлаков путем намыва их на дренажную систему, укладываемую в основании дамб. В этом случае золопроводы прокладываются на эстакаде над дренажной системой и золовая пульпа выпускается через небольшие отверстия в их дне рассредоточенно по всему фронту намыва. Вода профильтровывается в дрены, а золошлаки осаждаются на поверхности земли, постепенно образуя дамбу распластанного профиля.

В таких случаях на золопроводах устанавливаются гидравлические классификаторы, которые отделяют крупные куски шлака (во избежание засорения выпускных отверстий золопроводов) и наиболее мелкие частицы золы (во избежание ухудшения фильтрации в дренажную систему), направляя их в центральную часть отвала. В центральной части золоотвала образуется пруд-отстойник, в котором осаждаются наиболее мелкие частицы. Этот метод не требует возведения дорогостоящих земляных ограждающих дамб и позволяет сбрасывать в золоотвал загрязненные производственные стоки от электростанций, обеспечивая полное осветление возвращаемой из золоотвала воды.

В золоотвалах часть воды теряется в результате испарения и фильтрации в грунт. Эти потери принимаются обычно в размере 10—20% расхода поступающей в золоотвал воды.

Вода, используемая для питания паровых котлов, должна быть предварительно очищена от грубодисперсных и коллоидных примесей накипеобразующих солей, а также освобождена от растворенного воздуха.

Восполнение потерь питательной воды котлов на электростанциях, работающих с давлением пара 90 кгс/см^2 и выше, должно производиться химически обессоленной водой или дистиллятом.

Химическое обессоливание воды применяется, если содержание в исходной воде анионов сильных минеральных кислот ($SO_4+Cl+NO_3+NO_2$) не превышает 7 мг-экв/л. В других случаях применяются испарители, в которых получается дистиллят.

На электростанциях с энергоблоками 200 тыс. квт и выше при восполнении потерь дистиллятом испарителей последние должны дополняться установкой для химического обессоливания дистиллята.

На электростанциях применяются следующие схемы химического обессоливания воды в зависимости от котлов, параметров пара в них и качества исходной воды:

двухступенчатое Н-катионирование с декарбонизацией и последующим ступенчато-противоточным анионированием;

двухступенчатое обессоливание с чередующимся Н — ОН-ионированием и декарбонизацией после анионитного фильтра первой ступени или после Н-катионитного фильтра второй ступени;

трехступенчатое химическое обессоливание с чередующимся Н — ОН-ионированием и декарбонизацией воды в соответствующем месте схемы, причем в качестве третьей ступени допускается применение фильтров смешанного действия.

Количество воды, требующееся для подпитки котлов на конденсационных электростанциях, составляет 1—2% расхода пара.

На ТЭЦ ввиду отборов пара на нужды промышленных предприятий требуется значительно большее количество воды для подпитки котлов. Кроме того, на ТЭЦ производится умягчение воды, подаваемой на горячее водоснабжение городов.

Суммарный расход воды на тепловой электростанции зависит от ее мощности, типа установленного оборудования, кратности охлаждения пара и температуры охлаждающей воды. Для современной мощной теплоэлектростанции, оборудованной, например, восьмью блоками по 300 тыс. квт каждый, общий расход воды составляет приблизительно 300 тыс. м³/ч в летнее время и около 200 тыс. м³/ч зимой.

Удельный расход охлаждающей воды на 1 квт установленной мощности тем меньше, чем выше начальные параметры пара, подаваемого из котла в турбину, и чем больше единичная мощность турбин. Так, при увеличении мощности турбин от 100 до 500 тыс. квт и повышении давления пара с 90 до 240 кгс/см² удельный расход воды снижается с 0,17 до 0,10 м³/ч на 1 квт установленной мощности.

Несмотря на снижение удельных расходов воды при повышении единичной мощности турбин, суммарные расходы воды для мощных электростанций достигают 100 м³/с и более. Водоприемные и очистные сооружения, насосные установки, водоводы и искусственные охладители представляют при таких расходах воды сооружения крупного масштаба. Иногда место для строительства электростанции выбирается исключительно из условий удобства снабжения ее водой, причем приходится соглашаться с удалением электростанции от потребителей энергии и источников топлива.

§ 157. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Водоснабжение тепловой электростанции может быть прямоточным, оборотным или смешанным.

При прямоточном водоснабжении отработавшая теплая вода сбрасывается в реку, водохранилище, озеро или море на таком расстоянии от водоприемного сооружения, чтобы исключить возможность попадания в него теплой воды. При низких температурах речной воды водоснабжение электростанций из реки может быть осуществлено по системе с подмешиванием к речной воде в маловодные периоды года отработавшей на электростанции теплой воды.

При применении системы прямоточного водоснабжения не требуется больших капиталовложений на строительство и обеспечиваются низкие и устойчивые температуры охлаждающей воды. Однако расходы воды, достаточные для прямоточного водоснабжения мощной электростанции, могут быть получены только из больших рек, на которых размещение тепловых электростанций по совокупности технико-экономических показателей (топливоснабжение, выдача электроэнергии) оправдывается лишь в редких случаях. Возможность размещения электростанций на реках ограничивается также повышенными требованиями к условиям сброса воды в водоемы, связанными с тем, что изменение температурного режима реки оказывает большое влияние на происходящие в ней биологические процессы. Поэтому крупная теплоэнергетика в дальнейшем будет развиваться преимущественно с применением оборотного водоснабжения.

Наиболее выгодной системой оборотного водоснабжения для конденсационной электростанции является система с водохранилищем-охладителем. Однако возрастающая ценность земельных участков все чаще приводит к необходимости применения для охлаждения воды на ГРЭС градирен. В таких случаях может быть применена система воздушной конденсации с радиаторными охладителями (сухими градирнями), если в районе размещения ГРЭС не имеется источников, достаточных для подпитки системы оборотного водоснабжения.

На ТЭЦ, располагаемых, как правило, вблизи потребителей тепла в крупных городах, широко применяются системы оборотного водоснабжения с испарительными градирнями.

Существуют системы смешанного водоснабжения электростанции, когда параллельно с прямотоком в маловодные периоды включаются в в работу охладители (водохранилище-охладитель, градирни или брызгальные установки) либо параллельно с водохранилищем — градирни или брызгальные установки.

Подача воды на электростанцию из реки, озера или водохранилища осуществляется блочными или центральными насосными станциями либо самотеком.

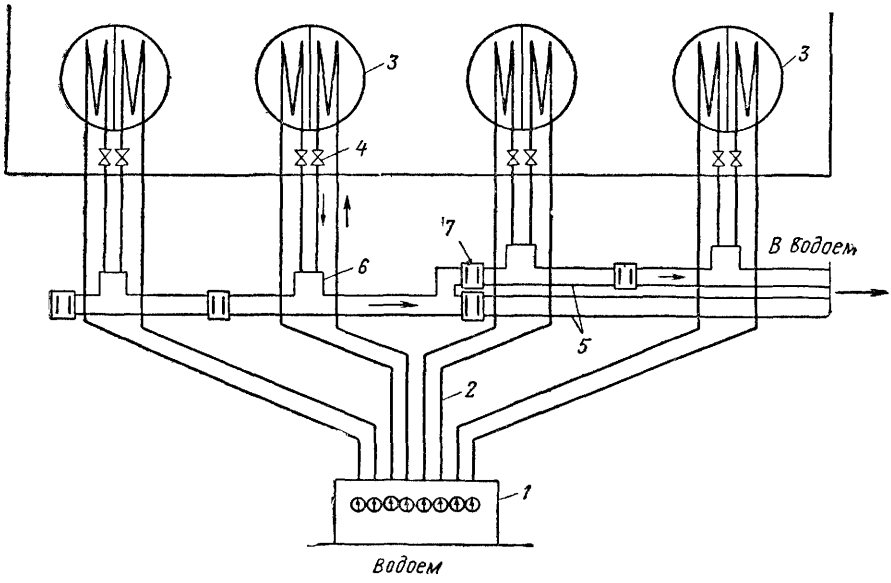


Рис. VII.20

1 — блочная береговая насосная станция; *2* — напорный водовод; *3* — конденсатор; *4* — задвижка на сливной линии конденсатора; *5* — отводящие каналы; *6* — сливной колодец; *7* — переключательный колодец

При схеме с блочными насосными станциями (рис. VII.20) на каждый блок (котел-турбина) устанавливают по два циркуляционных насоса. От каждого насоса к конденсатору турбины прокладывают отдельный водовод.

В качестве циркуляционных водоводов обычно применяют тонкостенные стальные сварные трубы с ребрами жесткости.

Блочные насосные станции располагают перед фронтом машинного зала электростанции: либо непосредственно на берегу источника водоснабжения, либо на самотечном канале, подводящем воду от источника. Последнюю схему применяют при небольшом превышении площадки электростанции над уровнем воды в источнике.

При размещении на берегу источника водоснабжения блочные насосные станции совмещают с водоприемниками, в которых устанавливают водоочистные решетки и вращающиеся сетки.

Насосы могут быть установлены по блочной схеме также в машинном отделении электростанции непосредственно около конденсаторов турбин. В этом случае на канале, подводящем воду из источника, уста-

навливается водоприемник с водоочистными вращающимися сетками.

При значительном удалении площадки электростанции от источника водоснабжения или большой амплитуде колебаний уровня воды в водохранилище многолетнего регулирования применяют двухступенчатую перекачку охлаждающей воды; береговая насосная станция первого подъема подает воду в канал, подводящий ее на площадку электростанции, а к конденсаторам вода подается блочными насосами или насосами, установленными в машинном отделении электростанции.

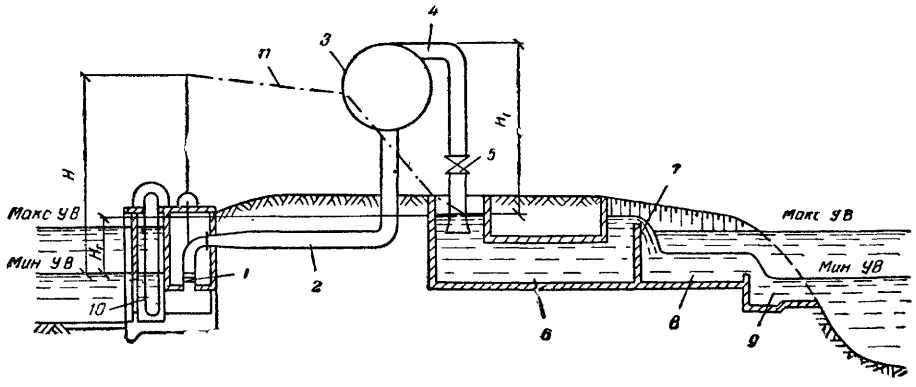


Рис. VII.21

1 — циркуляционный насос; *2* — напорный водовод; *3* — конденсатор; *4* — сливная труба; *5* — задвижка, *6* — закрытый отводящий канал; *7* — переливная стенка; *8* — открытый отводящий канал, *9* — перепад, *10* — водоочистная вращающаяся сетка; *11* — пьезометрическая линия; H — напор насоса, $H_г$ — геодезическая высота подачи воды; $H_с$ — высота сифона

При блочной схеме обратные клапаны и задвижки на напорных линиях не ставят, задвижки устанавливают лишь на сливной линии конденсатора (см. рис. VII.20 и VII.21). Такая схема наиболее надежна и вместе с тем экономична, так как гидравлические потери в системе сводятся к минимуму. Для возможности регулирования подачи воды при блочных схемах устанавливают осевые насосы с поворотными лопастями, а при глубоком регулировании — также и с двухскоростными двигателями.

На рис. VII.21 приведена вертикальная схема подачи воды в конденсатор. После прохождения через конденсаторы нагретая вода сбрасывается в общий для всех турбин отводящий канал. На территории электростанции этот канал выполняется закрытым из сборных железобетонных звеньев прямоугольного сечения размером до 4,2×3 м. Вне территории электростанции отводящий канал выполняется открытым трапецеидального сечения.

При схеме с центральной береговой насосной станцией (рис. VII.22) охлаждающая вода подается от насосной станции к машинному отделению электростанции по двум или нескольким напорным магистральным водоводам, диаметры которых достигают 3—3,5 м. К каждому конденсатору устраивают отводы от двух магистральных водоводов. Центральные насосные станции сооружают в одном блоке с водоприемниками. В них устанавливают не менее четырех насосов суммарной производительностью, равной максимальному расчетному расходу охлаждающей воды (без резерва); насосы работают параллельно на разветвленную сеть. Такое расположение насосов обеспечивает их взаимное резервирование и возможность регулирования подачи воды изменением не только

угла установки лопастей, но и числа работающих насосов. При морском водоснабжении устанавливают один резервный насос.

Недостатками такой схемы являются большое количество арматуры (обратные клапаны, задвижки на напорных линиях и перемычках) и повышенные гидравлические потери в разветвленной сети.

При значительном превышении площадки электростанции над уровнем воды в источнике водоснабжения может быть предусмотрено использование энергии сбрасываемой отработавшей воды (рекуперация). Рекуперация осуществляется либо путем устройства гидроэлектростанции

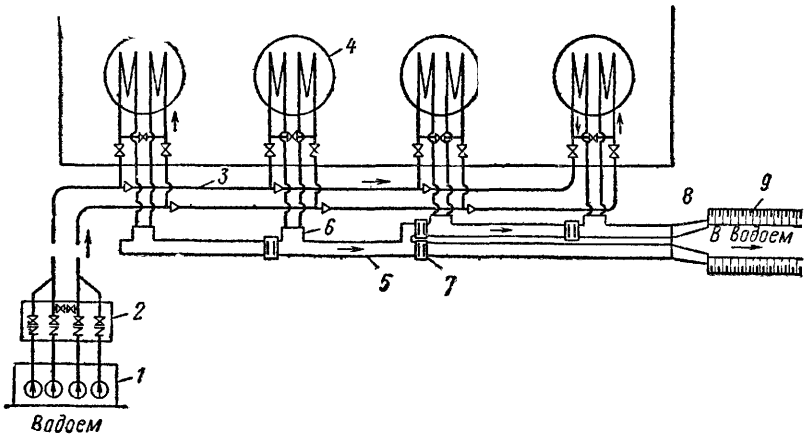


Рис VII 22

1 — центральная береговая насосная станция; *2* — переключательная камера; *3* — напорный водовод, *4* — конденсатор, *5* — закрытый отводящий канал, *6* — сливной колодец, *7* — переключательный колодец *8* — переливная стенка, *9* — открытый отводящий канал

на отводящем канале, либо применением гидротурбин для привода части циркуляционных насосов.

При расположении электростанции ниже плотины может быть осуществлена схема водоснабжения без циркуляционных насосов, если разница уровней в верхнем и нижнем бьефах плотины достаточна для преодоления гидравлического сопротивления в конденсаторе и водоводах. При такой схеме вода из верхнего бьефа подводится к конденсаторам по напорным трубам и сбрасывается после конденсаторов в нижний бьеф. Если при этом расходы реки недостаточны для прямоточного водоснабжения электростанции, может быть предусмотрена перекачка части отработавшей теплои воды из нижнего бьефа в верхний.

Самотечная схема может быть осуществлена гакже при больших уклонах реки путем сооружения деривационного канала с небольшим уклоном.

Если в отдельные периоды года из источника водоснабжения не могут быть получены достаточные расходы воды, но в то же время температура этой воды невысока, может быть применено последовательное включение конденсаторов, при котором вода, прошедшая через один конденсатор, подается затем в другой. Такую схему применяют иногда при расширении действующих электростанций. При последовательном включении конденсаторов неизбежно усложнение коммуникаций.

При системе оборотного водоснабжения с градирнями или брызгальными бассейнами циркуляционные насосы устанавливают, как правило,

в машинном отделении электростанции по два на каждую турбину (рис. VII.23). Приемные и обратные клапаны в этом случае не устанавливают, но во избежание обезвоживания конденсатора предусматривают автоматическое закрытие напорной задвижки при остановке насоса.

В некоторых случаях циркуляционные насосы при системе оборотного водоснабжения располагают в центральной насосной станции.

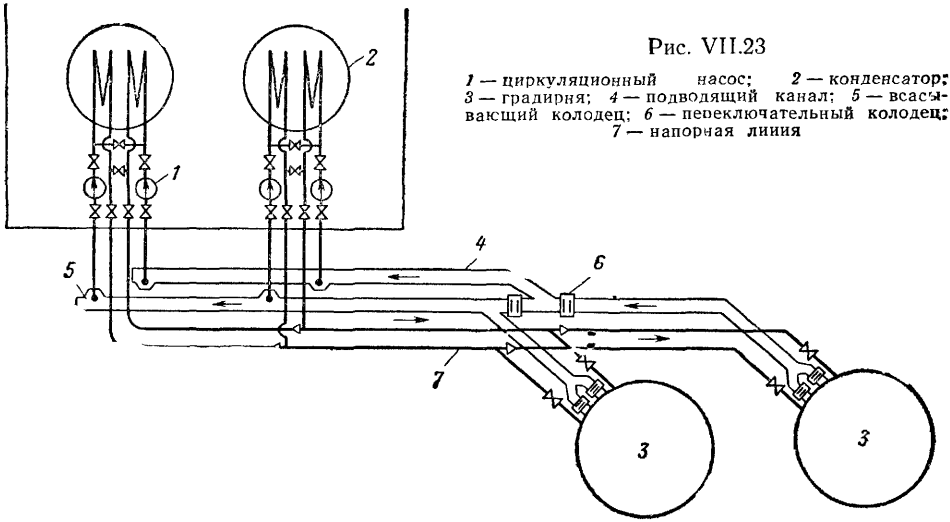


Рис. VII.23

1 — циркуляционный насос; *2* — конденсатор; *3* — градирня; *4* — подводящий канал; *5* — всасывающий колодец; *6* — переключательный колодец; *7* — напорная линия

Подвод воды от градирен или брызгальных бассейнов к циркуляционным насосам осуществляется, как правило, по закрытым железобетонным каналам, а подача теплой воды на охладители — по напорным линиям из стальных или железобетонных труб.

Конденсаторы паровых турбин обычно располагаются на значительной высоте над уровнем земли, поэтому в целях уменьшения геодезической высоты подачи воды насосами при системе прямоточного водоснабжения или при системе с водохранилищем используют сифон (см. рис. VII.21). Для этого сливную линию конденсатора выводят в сливной колодец под уровень воды в нем, и вода подается на отметку уровня воды в колодце. Высоту от этого уровня до верха конденсатора принимают во избежание срыва сифона обычно не более 8 м.

Для поддержания необходимого уровня воды в сливных колодцах на отводящих каналах сооружаются общие для всех турбин водосливные устройства с глухой переливной стенкой.

Кроме системы технического водоснабжения на тепловых электростанциях предусматривается система противопожарного водоснабжения, как правило, высокого давления, а также система хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Глава 32

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Процесс получения черных металлов состоит, как известно, из добычи и подготовки сырья и топлива, выплавки чугуна и стали, передела последней в прокатные профили и изделия. Топливом служит в основ-

ном кокс, получаемый из специальных углей на коксохимических заводах, а в последнее время — также природный газ.

Суммарное количество воды, расходуемой на 1 т стали, составляет 200—220 м³. Вода используется для охлаждения металлургических печей и конденсации пара, в качестве поглощающей и транспортирующей среды в сложных процессах обогащения сырья и топлива, а также при уборке окалины от прокатных станов, для очистки и охлаждения газов и других целей.

Ниже кратко рассматриваются методы использования воды на основных предприятиях черной металлургии и схемы их водоснабжения.

§ 158. РУДНИКИ, РУДООБОГАТИТЕЛЬНЫЕ И АГЛОМЕРАЦИОННЫЕ ФАБРИКИ

На рудниках вода расходуется на мокрое бурение забоев буровыми станками и перфораторами, обеспыливание забоев, поливку отвалов, обеспыливание бункеров погрузочных и разгрузочных площадок. На поверхности у шахт вода расходуется на охлаждение подшипников подъемных машин и дробилок, на охлаждение компрессоров и выпрямителей тока тяговых подстанций, в ремонтно-механических и буровзаправочных мастерских, на приготовление пара в котельных, а также на питьевые и хозяйственные нужды.

Указанные потребности в воде могут удовлетворяться из единого водопровода или из двух раздельных водопроводов — технической и питьевой воды. Для компрессоров и выпрямителей тока тяговых подстанций устраивается система оборотного водоснабжения с охлаждением отработавшей воды на градирне.

Общее потребление воды на 1 т добытой горной массы может составлять 0,07—0,7 м³, а при дроблении руды — до 1,7 м³, в том числе от 15 до 30% свежей воды. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды равен 3.

При гидравлической вскрыше карьеров (которая производится только в теплое время года) вскрышные породы размываются и транспортируются водой по трубам в гидроотвалы. Применяется оборот этой воды с ее осветлением в пруду-осветлителе (отстойнике). На эти цели потребляется от 8 до 24 м³ воды на 1 т добытой горной массы (руды), в том числе 15% и более добавочной воды, которая может быть получена из шахтного или карьерного водоотлива.

На фабриках обогащения полезных ископаемых в большинстве случаев производится дробление, грохочение, измельчение, промывка и особенно обогащение и обезвоживание руд или нерудных ископаемых. Обогащение может осуществляться различными методами в зависимости от вида, состава и свойств руды: гравитацией, магнитной и электрической сепарацией или флотацией.

При сухом обогащении производятся только дробление руды, отборка пустой породы и отделение мелкой пылеватой руды (обеспыливание). Вода при этом расходуется в незначительном количестве на охлаждение подшипников механизмов, обеспыливание, а также на хозяйственно-питьевые нужды. На таких фабриках устраивается система прямоточного водоснабжения с расходованием на 1 т рудной массы примерно 0,15 м³ воды.

Гравитационный метод, заключающийся в отделении пустой породы от руды путем промывки рудной массы водой в особых аппаратах, применяется при высоком содержании в руде глинистых и песчаных примесей. Иногда промытую и измельченную руду подвергают маг-

нитной сепарации или восстановительному обжиг-магнитному обогащению. Вода при гравитационном и магнитном обогащении расходуется на разжижение и промывку рудной массы, охлаждение подшипников дробилок, сушильных или обжиговых вращающихся печей, обеспыливание, приготовление пара, а также на хозяйственно-питьевые нужды. Отделенные от руды хвосты и шламы вместе с водой направляются по трубам или лоткам в шламохранилище, служащее одновременно и прудом-осветлителем (отстойником) воды. Осветленная в шламохранилище вода, содержащая до 1 г/л взвеси, используется повторно на разжижение и промывку рудной массы. При этом на 1 т рудной массы расходуется от 5,8 до 7,7 м^3 воды, в том числе до 30% свежей, так как часть воды в шламохранилище теряется.

При обогащении руды флотацией сначала ее измельчают до зерен размером 0,1—0,001 мм и взбалтывают в воде, в которую добавляют флотореагенты, а затем через эту смесь продувают воздух; одновременно в воду добавляют реагенты, которые делают пузырьки воздуха устойчивыми и способствуют образованию пены. При этом в пену обычно переходят полезные минеральные соединения (железо, марганец и др.), образуя концентрат, а пустая порода, как правило, остается в осадке, образуя вместе с водой пульпу. Вода при флотационном обогащении расходуется на разжижение и промывку рудной массы, приготовление растворов флотореагентов и образование пульпы; вода здесь служит также средой для транспортирования отходов и шламов. Водой охлаждаются подшипники дробилок, шаровых мельниц и сушильных вращающихся печей. Шламы, отделенные от руды при промывке рудной массы, и осадки от флотации вместе с водой направляются по трубам или лоткам в шламохранилище. Осветленная (в шламохранилище) вода может быть использована при обогащении руды флотацией, если содержание в ней взвеси не превышает 30—50 мг/л, или при обогащении руды гравитацией, если содержание в воде взвеси не превышает 200 мг/л.

Водоснабжение рудообогатительных фабрик при использовании флотации может быть осуществлено по одной из схем, показанных на рис. VII.24.

В случае, когда при обогащении руды по двухступенчатой схеме содержание флотореагентов в оборотной воде, подаваемой на промывку и флотацию, не нормируется, может быть применена схема водоснабжения по рис. VII.24 *а*. Общий сток коагулируется и направляется в пруд-осветлитель (шламохранилище); осветленная вода полностью возвращается на промывку и флотацию руды. Свежая вода подается только на восполнение потерь в производстве и шламохранилище.

В случае, когда содержание флотореагентов в оборотной воде нормируется, но не строго, может быть применена схема водоснабжения по рис. VII.24, *б*. Коагулируется только сток, содержащий флотореагенты, который направляется в радиальные отстойники; осадок из отстойников добавляется в сточную воду, не содержащую флотореагентов, для коагуляции им мелкодисперсной взвеси и вместе с этой водой поступает в пруд-осветлитель (шламохранилище). Вода, осветленная в отстойниках, и вода, осветленная в пруду-осветлителе, смешиваются и возвращаются на промывку и флотацию. Свежая вода из источника, как и в предыдущем случае, подается только на восполнение потерь.

Общее потребление воды на 1 т железорудной массы, обогащаемой флотацией с предварительным гравитационным обогащением

и магнитной сепарацией, составляет до 8,5 м³, в том числе около 30% свежей воды.

Пруды-осветлители оборотной воды (шламохранилища) образуются ограждающими дамбами, сооружаемыми насухо из вскрышных пород и намывом из шламов.

Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется от 1 до 1,2.

Необходимый напор в водопроводной сети рудообогатительных фабрик равен 40 м; для гидромониторов, производящих разжижение рудной массы, напор воды повышают специальными насосами до 150 м.

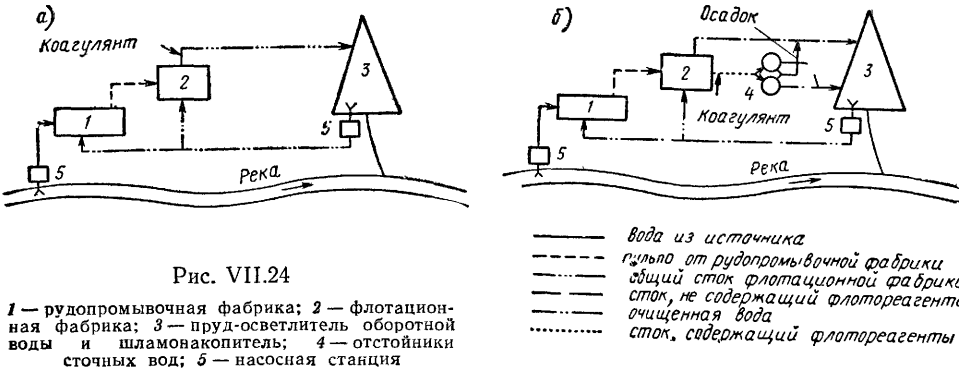


Рис. VII.24

1 — рудопромывочная фабрика; *2* — флотационная фабрика; *3* — пруд-осветлитель оборотной воды и шламонакопитель; *4* — отстойники сточных вод; *5* — насосная станция

На случай перебоя в работе насосной станции необходимо иметь запас воды, достаточный для промывки системы в течение 15—30 мин.

На агломерационных фабриках, а также на фабриках окускования руды и производства окатышей, располагаемых у рудообогатительных фабрик или на металлургических заводах, производится спекание в куски шихты, состоящей из продуктов флотации и пылеватой руды, известняка и коксика, с добавлением возврата мелкого агломерата (отсева). Вода при этом расходуется на увлажнение шихты перед спеканием, на охлаждение зажигательных горнов, подшипников механизмов, масла для смазывания подшипников эксгаустера и электродвигателя, на обеспыливание воздуха, очистку газов и мойку полов, а также на хозяйственно-питьевые нужды.

Водоснабжение фабрик оборотное с осветлением отработавшей воды в отстойниках. Свежая вода подается на охлаждение подшипников и масла, а затем используется на восполнение потерь оборотной воды.

Общее потребление воды на 1 т агломерата железных руд составляет: без очистки газов около 2 м³, в том числе до 27% свежей воды; с очисткой газов 5,7 м³, в том числе 13% и более свежей воды. Потребление воды на 1 т агломерата марганцевых руд — 3,5 м³, в том числе около 30% свежей воды. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется от 1 до 1,2.

Необходимый напор в водопроводной сети агломерационной фабрики составляет 25—30 м.

§ 159. КОКСОХИМИЧЕСКИЕ ЗАВОДЫ

Современный коксохимический завод состоит из коксового цеха и следующих химических цехов и отделений: цех улавливания химических продуктов, в который входят отделение конденсации и охлажде-

ния газа, машинное отделение с электрофильтрами, аммиачно-сульфатное отделение с пиридиновой и обесфеноливающей установками, отделения улавливания и дистилляции бензола; цех отгонки газа от сероводорода с отделениями сероводородным и сернокислотным; смолоразгонный цех с рядом отделений.

В составе многих коксохимических заводов имеются углеобогатительные фабрики с мойкой углей или мойкой и флотацией мелких углей и шламов.

На углеобогатительной фабрике вода расходуется на мойку углей, приготовление растворов флотореагентов и образование пульпы; вода здесь служит также средой для транспортирования шламов; *водой охлаждаются подшипники механизмов. Водоснабжение углеобогатительной фабрики* оборотное с осветлением отработавшей воды в отстойниках.

Шламы (осадки) после мойки углей сгущаются в технологических отстойниках и подаются на флотацию; вода от флотации подвергается осветлению в горизонтальных отстойниках и при содержании в ней 1—70 г/л взвеси подается в цикл мойки углей без выпуска в водоем.

Общее потребление воды на 1 т обогащаемых углей составляет около 4 м^3, в том числе до 4% свежей воды. В водопроводной сети углеобогатительной фабрики достаточен напор 35—40 м. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется от 1 до 1,2.

В коксовом цехе вода применяется для тушения раскаленного кокса, выгружаемого из печи в специальный тушильный вагон. Этот вагон ставится под тушильную башню, и кокс поливается обильным потоком воды в виде дождя. После выгрузки из вагона кокс для завершения процесса тушения дополнительно поливается водой на рампе. На новых заводах применяется сухое (безводное) тушение кокса.

Суммарный расход воды на тушение 1 т кокса под башней и на рампе составляет 1 м^3; при этом безвозвратно теряется на испарение и уносится коксом около 0,5 м^3 воды. Остальная вода вместе с мелкими кусочками кокса и химически растворимыми веществами стекает в приемный резервуар-отстойник. После осветления (отстаивания) эта вода под напором 25 м подается снова на тушение кокса. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется от 1,1 до 1,3. При сухом тушении кокса потребление воды снижается.

В химических цехах и отделениях используемая вода может загрязняться и не загрязняться. В трубчатых холодильниках газа, отделениях сероводорода и ректификации, в бензольном и сульфатном отделениях, смолоразгонном цехе и пекококсовой установке вода, используемая на охлаждение продуктов через стенку, не соприкасается с этими продуктами и не загрязняется; в конечных холодильниках газа, на пековом транспортере, в первичном холодильнике пекококсовой установки, в оросительных холодильниках сероочистки вода расходуется *на охлаждение и очистку продуктов путем непосредственного* соприкосновения с ними и загрязняется.

Система водоснабжения химических цехов и отделений коксохимического завода осуществляется с оборотом воды (рис. VII.25). Первая группа потребителей имеет один общий цикл водоснабжения, охватывающий следующие цехи, отделения и установки: трубчатые холодильники газа *а*; отделение улавливания сероводорода *б*; отделение ректификации бензола *в*; бензольное отделение *г*; сульфатное отделение *д*; насосную конденсата *е*; смолоразгонный цех *ж* и пекококсовую установку *з*. Из этой же системы оборотная вода подается на восполнение по-

теря в отдельных циклах водоснабжения: конечных газовых холодильников *о*; пекового транспортера *п*; первичных холодильников пекококсовой установки *р*; углеобогатительной фабрики. В первую систему принимается отработавшая вода от машинного отделения *и*. Восполнение потерь и убыли воды в первом цикле и в цикле оросительных холодильников серной кислоты *с* производится водой из источника. Свежая вода из источника подается также следующим потребителям: машинному отделению *и*; на поливку территории *к*; цеху углеподготовки *л*; коксовому цеху *м*; на биохимическую обесфеноливающую установку *н*.

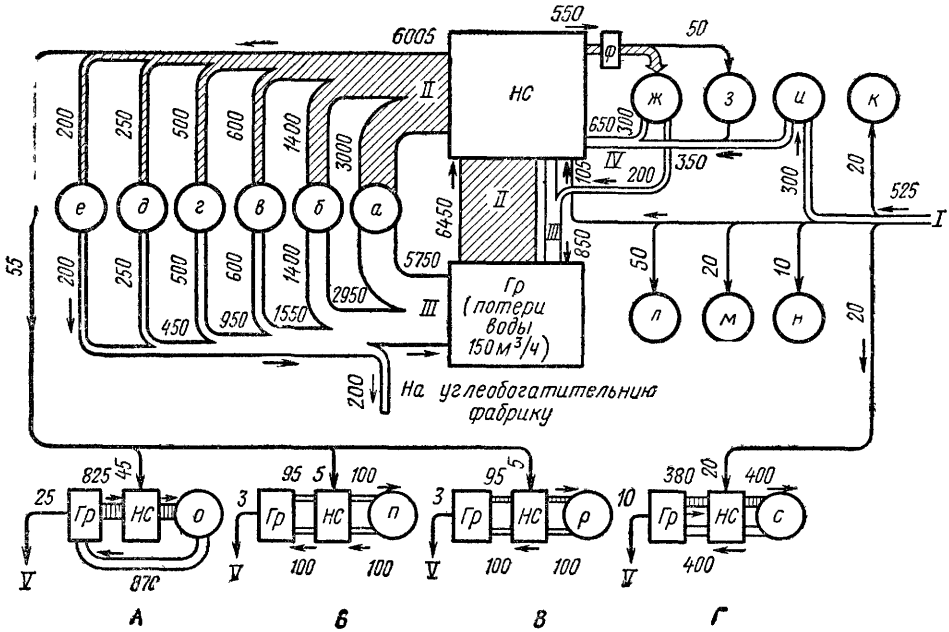


Рис. VII 25

I — свежая добавочная вода; *II* — оборотная техническая (незагрязненная) охлажденная вода; *III* — нагретая напорная вода, *IV* — нагретая безнапорная вода, *V* — сброс сточных вод в фенольную канализацию *А* — замкнутый цикл водоснабжения конечных газовых холодильников, *Б* — то же, пекового транспортера, *В* — то же, первичных холодильников пекококсовой установки, *Г* — то же, оросительных холодильников серной кислоты, *Гр* — градирня *НС* — насосная станция, *Ф* — фильтры (цифрами показаны расходы воды в м³/ч)

Оборотная вода во всех замкнутых циклах охлаждается на градирнях. Загрязненные сточные воды от второй группы потребителей поступают в канализационную сеть фенольных стоков и после соответствующей очистки используются на восполнение потерь в цикле тушения кокса (на схеме не показано) без выпуска в водоем.

Общее потребление воды на 1 т получаемого кокса (включая водопотребление химических цехов и отделений, без обогащения угля) составляет около 20 $м^3$, в том числе около 5—7% свежей воды. Основное количество воды расходуется на охлаждение продуктов (газа) в теплообменных аппаратах. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется в пределах 1—1,2.

К качеству охлаждающей воды предъявляются следующие требования: температура ее должна быть не выше 25—28° С; содержание взвешенных веществ — не более 20—40 мг/л; карбонатная жесткость — не выше 2,5 мг-экв/л (во избежание образования отложений $CaCO_3$). Требуемый напор в водопроводной сети химических цехов 30 м.

§ 160. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ЗАВОДЫ

Металлургические заводы состоят из трех основных цехов: доменного, сталеплавильного и прокатного с мощным энергетическим хозяйством, включающим очистку и использование доменного газа, воздуходувную и электрическую станции, на многих заводах — кислородную станцию и другие устройства, а также вспомогательных цехов: ремонтно-механического, железнодорожного транспорта и др.

Иногда металлургические заводы имеют неполный технологический цикл, охватывающий выплавку стали из привозного чугуна и

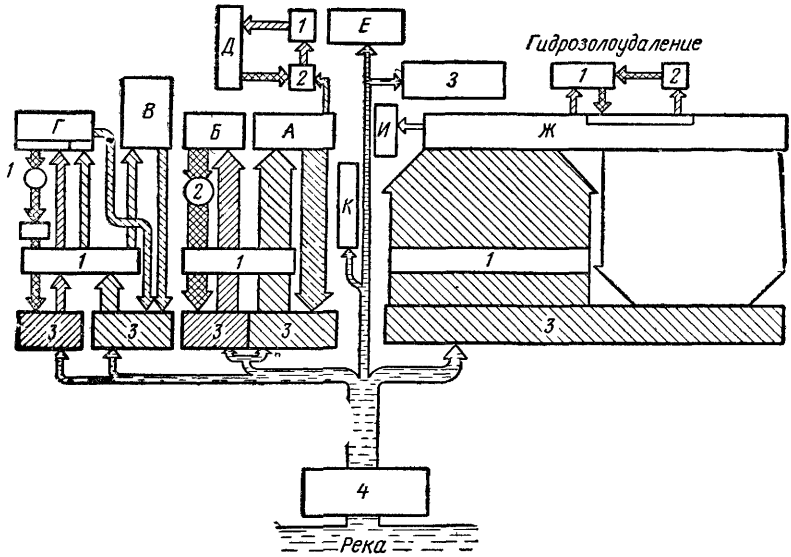


Рис. VII.26

А — доменный цех; *Б* — газоочистка; *В* — сталеплавильный цех; *Г* — прокатный цех; *Д* — разливочные машины, *Е* — коксохимический цех; *Ж* — ТЭЦ и паровоздуходувная станция, *З* — цех огнеупоров; *И* — химводоочистка; *К* — прочие цехи; *1* — насосные станции циклов оборотного водоснабжения, *2* — отстойники, *3*—брызгальные бассейны; *4* — насосная станция первого подъема

скрапа (стальной и чугунный лом) и передел ее в прокатные профили и изделия.

На металлургических заводах, как правило, устраивают систему оборотного водоснабжения из отдельных циклов для каждого из цехов и устройств, отличающихся качеством воды и необходимыми напорами ее в сетях (рис. VII.26). Общее потребление воды на производственные нужды современного завода с полным металлургическим циклом, включая коксовое и огнеупорное производства, ТЭЦ и вспомогательные цехи, на 1 т выплавляемого чугуна с переделом его в сталь и прокат достигает 220 м^3, в том числе от 3 до 5% свежей воды.

Основное количество воды (около 75%) расходуется на металлургическом заводе на охлаждение конструктивных элементов агрегатов (доменных, сталеплавильных и нагревательных печей) и на конденсацию пара на воздуходувной и электрической станциях. До 22% воды расходуется здесь на охлаждение непосредственно оборудования и продукции (газа и металла), а также на транспортирование механических примесей; при этом вода и нагревается, и загрязняется. Небольшое количество воды (около 3%) расходуется на прочие мелкие нужды.

Для основных цехов металлургического завода необходима бесперебойная подача воды.

§ 161. ДОМЕННЫЕ ЦЕХИ

В доменном цехе производится выплавка чугуна из шихты (агломерата, руды и известняка с коксом, используемым как топливо) в непрерывно действующих доменных печах с внутренним объемом от 250 до 5000 м³. Известняк является флюсом, способствующим сплавлению и ошлакованию пустой породы руды. Необходимый для горения воздух подается в печь воздуходувками; перед поступлением в печь воздух проходит через воздухонагреватели. Для интенсификации процесса в доменную печь может подаваться кислород, получаемый на специальной станции, а также природный газ.

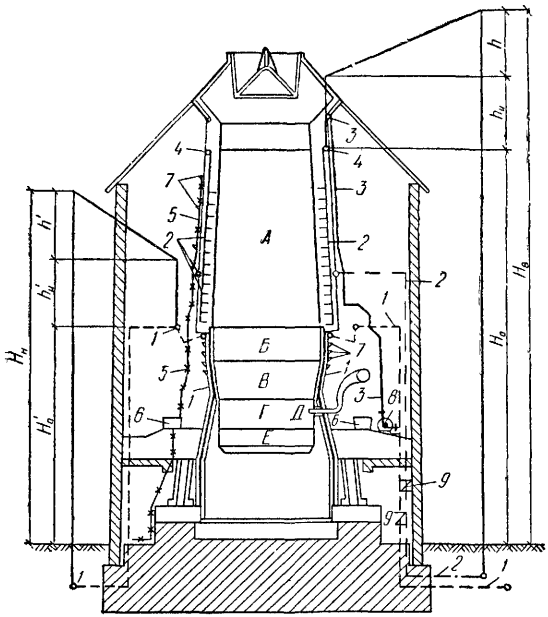


Рис. VII 27

А — шахта; *Б* — распар; *В* — заплечики доменной печи; *Г* — горн, *Д* — фурмы; *Е* — металлоприемник; *1* — сеть нижней зоны водоснабжения; *2* — сеть верхней зоны водоснабжения; *3* — сеть высокого напора (для подачи воды на колошник и промывку холодильников), *4* — кольцевая труба от верхней зоны для наружной поливки шахты печи; *5* — водоотводящий трубопровод; *6* — сборный бачок отработавшей воды; *7* — переливные козырьки для наружной поливки печи; *8* — насос для повышения напора; *9* — обратные клапаны

Продукты производства — чугун и шлак — выпускаются из печей в ковши; чугун отвозят для дальнейшей переработки в сталь или же разливают в слитки в виде чушек, а шлак подают на грануляционную установку. Кроме чугуна и шлака из доменных печей выходит газ, используемый после предварительной очистки как топливо на том же заводе.

Доменная печь (рис. VII.27) представляет собой конусную шахту в виде стального кожуха с внутренней кладкой из огнеупорного кирпича. Загружаемая сверху шихта постепенно опускается по шахте к самой широкой ее части (распару), где под воздействием температуры горения кокса и природного газа начинают образовываться капли чугуна и шлака, собирающиеся в металлоприемнике.

Вода при выплавке чугуна расходуется на увлажнение шихты, охлаждение доменных печей и арматуры воздухонагревателей и на мелкие нужды. Кроме того, вода в доменном цехе расходуется на грануляцию шлака, охлаждение чугуна на разливочных машинах и в подбункерных помещениях.

Шихта увлажняется для уменьшения выноса из доменной печи пылеватых частиц руды, флюсов и кокса. Для этого обычно используется вода (0,5 м³ на 1 т выплавленного чугуна), отработавшая в системе охлаждения доменных печей.

Охлаждение доменной печи водой требуется для сохранения кладки печи из огнеупорного кирпича и деталей, работающих в зоне высоких

температур. Количество воды в м³/ч, необходимой для отведения тепла от доменной печи (а также от других металлургических печей), может быть определено по формуле

$$W = \frac{Q}{c\,(t_2 - t_1)\,10^3},$$

где Q — количество тепла, отводимого охлаждающей водой, в ккал/ч;

c — теплоемкость воды, равная 1 ккал (кг·° С);

t_1 и t_2 — температура воды, поступающей в холодильники и выходящей из них, в ° С.

Общее количество тепла в ккал/ч, отводимого охлаждающей водой от любой доменной печи, по С. М. Андоньеву, составляет

$$Q = 0{,}15n + 0{,}006V)\,K,$$

где n — число воздушных фурм у доменной печи;

V — полезный (внутренний) объем доменной печи в м³;

K — коэффициент, учитывающий сорт выплавляемого чугуна: для передельного чугуна $K = 1$, для литейного чугуна $K = 1{,}1$ и для специальных чугунов $K = 1{,}2$ ... $1{,}4$.

Водоснабжение доменного цеха может быть однозонным или двухзонным. При однозонном водоснабжении вся охлаждающая вода подается в холодильники доменной печи под одним общим напором, достаточным для ее поступления в наивысшую точку. При двухзонном водоснабжении вода для нижней части печи (распар, заплечики, фурменная зона, горн и лещадь) подается под одним (пониженным) напором $H_н$, а для верхней части — под другим (повышенным) напором $H_в$ (см. рис. VII.27). При этом

$$H_в = H_0 + h_и + h;$$
$$H_н = H_0' + h_и' + h',$$

где H_0 и H_0' — напоры у самой печи;

$h_и$ и $h_и'$ — остаточные напоры на излив;

h и h' — потери напора от магистрали до холодильников.

В последнее время водоснабжение крупных доменных печей устраивают однозонным. Как при однозонном, так и при двухзонном водоснабжении вода подается к доменному цеху по двум самостоятельно работающим водоводам и сетям (параллельным водоводам), как показано на рис. VII.28. При этом между параллельными водоводами *А* и *Б* имеются перемычки с электрифицированными задвижками, закрытыми при нормальном режиме работы и открываемыми только при ремонтах; на вводах воды к печам установлены обратные клапаны, препятствующие обратному току воды из водопроводного кольца доменной печи в случае аварии на одном из водоводов. Управление задвижками на перемычках дистанционное из диспетчерского пункта.

Охлаждение клапанов воздухонагревателей (цилиндрического сооружения в виде металлического кожуха, заполненного специальной кладкой из огнеупорного кирпича) имеет целью предохранение клапанов от разрушения проходящими через них газами и воздухом, нагретыми до температуры 800° С и более. Клапаны служат для регулирования нагрева воздуха, поступающего от воздуходувных машин в доменную печь; воздух нагревается сжиганием очищенного доменного газа.

Потребление воды в доменном цехе на 1 т выплавляемого чугуна (без учета ее расходования на грануляцию шлака и разливку металла) составляет около 24 м³, в том числе 3—4% свежей воды. Основное коли-

чество воды (примерно 95%) расходуется на охлаждение конструкций и арматуры и не получает специфических загрязнений. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды равен 1,05.

Водоснабжение доменного цеха — оборотное; отработавшая вода из холодильников печей и арматуры воздухонагревателей сливается в приемные коробки и поступает для охлаждения на градирни или в брызгальный бассейн; охлажденная вода забирается насосами и снова подается в цех. Необходимый напор оборотной воды в сети у доменных печей составляет от 45 до 70 м в зависимости от полезного объема печи.

Грануляция шлака заключается в превращении его из жидкого состояния в твердый зернистый материал путем быстрого охлаждения водой. Из гранулированного шлака приготовляются шлаковый кирпич и цемент; шлак можно использовать и для других целей.

В настоящее время применяют преимущественно полусухую грануляцию шлака, а у новых доменных печей — мокрую грануляцию в желобах с осветлением оборотной воды в отстойнике. Расход оборотной воды

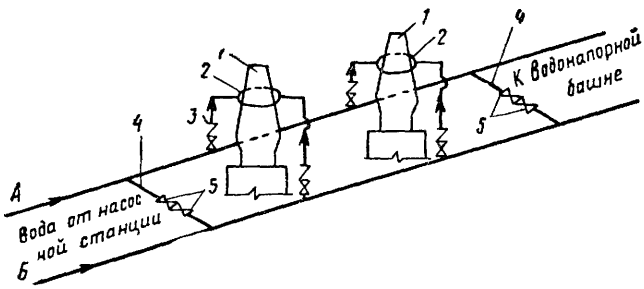


Рис. VII 28

1 — доменные печи; *2* — водопроводное кольцо печи; *3* — обратные клапаны; *4* — перемычки, *5*—задвижки

на мокрую грануляцию составляет 8 м³ на 1 т шлака; безвозвратно теряется в обоих случаях около 1 м³ на 1 т шлака.

Разливка чугуна в чушки производится на специальных разливочных машинах, к которым жидкий чугун подвозят от печей в ковшах. Чугун разливают в мульды (изложницы), непрерывно движущиеся вместе с несущей их цепью (лентой). Разлитый в изложницы чугун интенсивно поливают водой из дырчатых труб; охлажденные и затвердевшие слитки (чушки) чугуна подают с ленты на железнодорожную платформу, на которой после доохлаждения водой их отвозят на склад.

Общий расход воды при разливе на 1 т чугуна составляет до 4 м³, при этом около 20% воды теряется. Водоснабжение оборотное с очисткой отработавшей воды от кусочков ломаного чугуна и извести в отстойнике. Потери в системе восполняются свежей водой.

Напор воды для разливочных машин должен быть 30 м.

§ 162. ЦЕХИ ОЧИСТКИ ДОМЕННОГО ГАЗА

В цехе очистки доменного газа вода служит поглотителем механических примесей газа (колошниковой пыли), растворителем газов и некоторых минералов, а также охладителем газа и транспортирующей средой поглощенных примесей. В трубах Вентури, скрубберах, а иногда и в электрофильтрах очищаемый и охлаждаемый газ движется навстречу струям воды.

Количество воды в м³/ч, необходимой для охлаждения и очистки га-

за путем непосредственного соприкосновения с ним, может быть приближенно определено по уравнению

$$W = \frac{G(i_1 - i_2)}{c(t_2 - t_1)\,10^3},$$

где G — количество очищаемого и охлаждаемого газа в кг/ч;

i_1 и i_2 — теплосодержание газа соответственно до и после его очистки и охлаждения в ккал/кг;

t_1 и t_2 — температура воды, поступающей на газоочистку и после нее, в °С.

Теплосодержание газа

$$i = c' t_г,$$

где c' — теплоемкость газа в ккал/(кг·°С);

$t_г$ — температура газа в °С.

Общий расход воды на очистку доменного газа составляет 24 м³ на 1 т выплавляемого чугуна, в том числе около 5% свежей воды (с учетом гидравлического удаления шлама из отстойников). Коэффициент часовой неравномерности расхода воды равен 1, а при наличии электрофильтров — 1,35.

Вода в процессе ее использования для очистки доменного газа нагревается на 15—20° С и загрязняется механическими примесями, углекислотой (CO_2) и др.

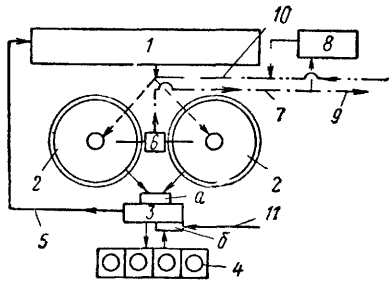


Рис. VII.29

Для цеха устраивается система оборотного водоснабжения (рис. VII.29). Выходящая из цеха газоочистки *1* отработавшая вода с температурой 45—50° С и содержанием взвешенных веществ 1500—1800 мг/л поступает в радиальные отстойники *2*, где количество взвешенных веществ снижается до 80—150 мг/л. Из отстойников вода поступает в камеру горячей воды *а* к насосной станции *3*; в последней установлены две группы насосов. Первой группой насосов вода подается на градирню *4* для ее охлаждения, здесь температура воды снижается до 28—30° С. Второй группой насосов охлажденная вода по линии *5* снова подается в цех газоочистки. Осадок, образующийся в отстойниках, подается насосной станцией *6* по шламопроводу *7* на установку по обезвоживанию осадка *8* или по линии *9* в шламонакопитель. Шламовая вода возвращается в один из радиальных отстойников по линии *10*. Потери воды в системе восполняются свежей водой, подаваемой по линии *11* в приемную камеру охлажденной воды *б* насосной станции *3*.

Необходимый напор в водопроводной сети цеха газоочистки равен 40—45 м.

Для предотвращения образования карбонатных отложений на градирне, в трубах и газоочистных аппаратах оборотную воду подвергают двухступенчатой рекарбонизации углекислотой доменного газа, вводя ее в воду в камерах *а* и *б* насосной станции *3*.

§ 163. СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ЦЕХИ

В сталеплавильных цехах производится выплавка стали из чугуна. В процессе передела чугуна в сталь, протекающем при высоких температурах, из чугуна удаляется часть углерода, кремния и марганца, а также вредных примесей (серы и фосфора).

Выплавка стали может производиться следующими способами: конвертерным, мартеновским и электроплавкой; иногда применяют комбинации этих способов. Выплавленную сталь разливают в изложницы и направляют в прокатные цехи. В настоящее время широкое применение находит непрерывная разливка стали в длинные слитки для последующей прокатки в профили.

В конвертерном цехе вода расходуется на охлаждение воздуходувных и кислородных машин, очистку газа в скрубберах, а также на различные мелкие нужды; очищенный газ выпускается в атмосферу. Общее потребление воды составляет от 15 до 26 м³ на 1 т выплавленной стали, в том числе 4—5% свежей воды.

В мартеновском цехе (наиболее широко распространенном) чугун, а также скрап (металлический лом) и необходимые добавки (марганец, доломит и др.) переплавляют в печах, отапливаемых газом (коксо-

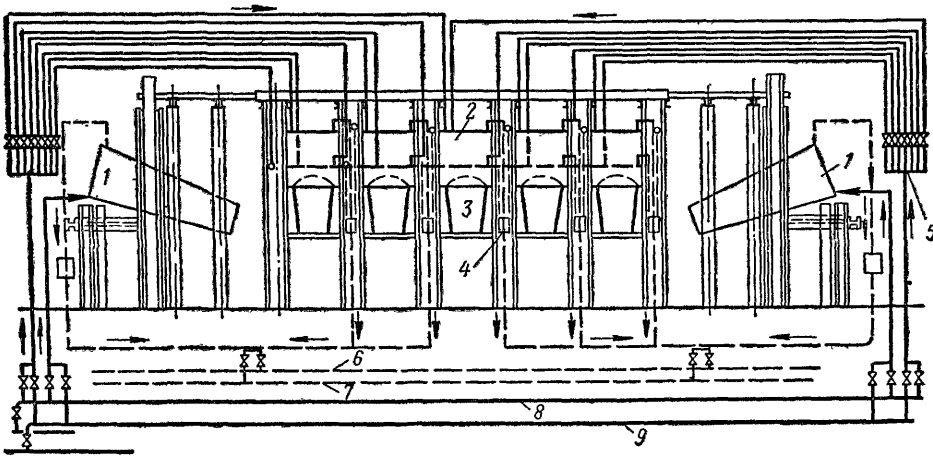


Рис. VII 30

1 — кессон; *2* — заслонка; *3* — рама; *4* — воронка; *5* — гребенка; *6* и *7* — главные обратные водоводы № 1 и 2; *8* и *9* — главные подающие водоводы № 1 и 2

вым, доменным или смесью их) или мазутом; выделяющийся при этом газ очищается в скрубберах и выпускается в атмосферу. Печи охлаждаются водой (водяное охлаждение) или пароводяной эмульсией (испарительное охлаждение) с целью сохранения постоянства профиля огнеупорной кладки и долговечности деталей, работающих в зоне высоких температур. Схема водяного охлаждения мартеновской печи приведена на рис. VII.30. Водой охлаждаются кессоны, рамы и заслонки завалочных окон, пятовые балки, перекидные устройства (воздушные и газовые) и шиберы. Вода в цехе расходуется также на очистку газов (аналогично доменному), поливку рабочей площадки у печей, мытье механизмов, замочку и охлаждение инструмента, заливку шлака и др.

Расход воды на охлаждение мартеновской печи вычисляют так же, как и для доменной печи.

Общее количество тепла в ккал/ч, отводимого охлаждающей водой от мартеновской печи с газовым отоплением, по С. М. Андоньеву, составляет

$$Q_{\text{г}} = \left(5 - \frac{120}{E}\right) pJs \cdot 10^6,$$

где E — емкость печи по стали в т;

p — коэффициент неравномерности тепловой нагрузки печи, составляющий до 1,4;

J — коэффициент, учитывающий применение кислорода, равный 1,06;

s — коэффициент, учитывающий наличие у печи задних пятовых балок, равный 1,15.

Количество тепла в ккал/ч, отводимого охлаждающей водой от мартеновской печи с мазутным отоплением, по формуле того же автора составляет

$$Q_м = \left(3 - \frac{50}{E}\right) pJs \cdot 10^6.$$

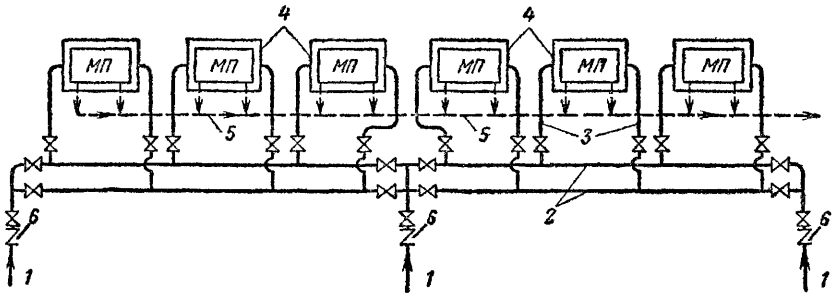


Рис VII 31

Отработавшая нагретая и незагрязненная вода из охлаждаемых деталей сливается в приемные коробки, расположенные на высоте 1,5 м над уровнем рабочей площадки или на высоте 7—8 м над поверхностью земли, а затем отводится на градирню; охлажденная вода снова подается на те же цели. Схема водопроводной сети мартеновского цеха приведена на рис. VII.31. От магистральных водоводов или водопроводного кольца вода поступает в цех по вводам *1* в водопроводные линии *2*, уложенные параллельно внутри цеха. К охладительным устройствам вода подводится по линиям *3* через водопроводное кольцо *4*, уложенное по верху каждой печи *МП*. Отработавшая нагретая вода сливается в коллектор *5*, по которому она поступает на охладительное сооружение (градирню или брызгальный бассейн). В зависимости от местных условий одна из линий *2* может быть уложена с другой стороны сталеплавильных печей.

В случае понижения давления в одной из линий внешней водопроводной сети на соответствующем вводе *1* автоматически закрывается обратный клапан *6*, благодаря чему вода не пойдет обратно во внешнюю водопроводную сеть. В сталеплавильном цехе не допускается не только перерыв в подаче воды, но и уменьшение ее количества или снижение напора, так как это влечет за собой нарушение нормального хода плавки стали в печах. Для обеспечения бесперебойной подачи воды в мартеновский цех устраивают водонапорную башню с запасом воды на 20—30 мин ее расходования.

Общее потребление воды на выплавку 1 т стали в мартеновских печах составляет от 14 до 24 м^3, в том числе около 4—5% свежей воды на восполнение потерь ее в системе. В сети у цеха необходим напор в 30 м.

В электросталеплавильном цехе выплавляются высококачествен-

ные легированные стали или ферросплавы. Плавка осуществляется в электрических печах, в которых необходимая температура плавильного пространства обеспечивается горением электрических дуг, образующихся между шихтой и электродами.

Вода в электросталеплавильном цехе расходуется на охлаждение зажимов электрододержателей (это необходимо во избежание чрезмерного нагревания зажимов током большой силы, проходящим по электродам, а также выделяющимися в печи горячими газами), на охлаждение электродов в местах их прохода через свод, где охлаждающая вода протекает по трубчатым кольцам, на охлаждение завалочных и выпускных окон, трансформаторного масла и др. Кроме того, вода расходуется на очистку отходящих от плавки газов перед выбросом их в атмосферу.

Общий расход воды в электросталеплавильных цехах на 1 т выплавляемой стали составляет до 48 м³, в том числе 4—5% свежей воды. В ферросплавных цехах расход воды на 1 т ферросплавов возрастает до 60—400 м³ в зависимости от их состава; потребность в свежей воде увеличивается до 6%.

Коэффициент часовой неравномерности расхода воды в сталеплавильных цехах принимают равным 1,05.

В каждом сталеплавильном цехе (конвертерном, мартеновском, электропечном) устраивают два цикла оборотного водоснабжения: цикл незагрязненной охлаждающей воды с градирней и цикл загрязненной воды газоочистки с отстойником и градирней. Ведутся производственные опыты по использованию оборотной воды газоочистки без ее охлаждения.

В сталеплавильных цехах вода подается также в виде душа на охлаждение стали, находящейся в изложницах, установленных на тележках. Расход этой воды учитывается в общем потреблении воды в цехе и составляет 30—50 м³/ч, в том числе 10—15% свежей воды.

В последнее время при сталеплавильных цехах устраиваются установки непрерывной разливки стали, использующие для охлаждения незагрязненную и загрязненную воду, как и в прокатном цехе (см. ниже).

§ 164. ПРОКАТНЫЕ ЦЕХИ

В прокатных цехах стальные слитки прокатываются в металл самого разнообразного профиля. Технологический процесс прокатки разделяется на два основных цикла: нагрев слитков перед прокаткой в нагревательных печах или нагревательных колодцах и прокатка нагретых слитков.

У нагревательной печи водой охлаждаются рамы и заслонки, глиссажные (подовые) трубы, а также фурменные устройства. Схема водопровода нагревательной (методической) печи показана на рис. VII.32. Расход воды на нагревательные печи зависит от их типа, производительности, величины нагреваемых слитков (чем крупнее слитки, тем меньше удельный расход воды) и составляет на 1 т проката от 0,3—0,5 м³ для нагревательных колодцев в цехах блюмингов до 8 м³ для нагревательных печей при мелкосортных станах. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды на нагревательные печи принимают равным 1,05. Вода в нагревательных колодцах и печах нагревается на 8—15° и не загрязняется. Поэтому ее обычно не смешивают с водой, отходящей от прокатных станов, и после охлаждения на градирне используют в системе оборотного водоснабжения.

Необходимый напор в водопроводной сети у нагревательных колодцев и печей равен 20—25 м.

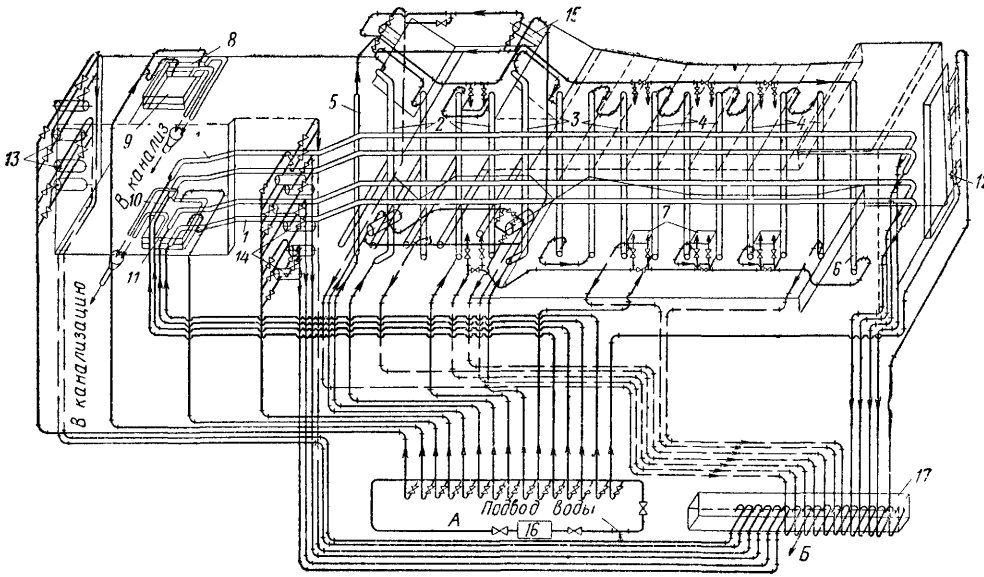


Рис. VII.32

А — узел подвода и распределения охлаждающей воды по деталям; *Б* — узел сбора и отвода отработавшей воды, *1* — продольные подовые трубы; *2* — поперечные подовые трубы в зоне высоких температур; *3* и *4* — то же, в методической части печи; *5* — опорная труба; *6* — поперечная подовая труба; *7* — отбойники с водяным охлаждением; *8* — рама окна выдачи слитков; *9* — заслонка окна выдачи слитков, *10* — рама окна перед выталкиванием слитков; *11* — заслонка перед выталкиванием слитков; *12* — рама окна загрузки; *13* — форсунки горелок; *14* — нижние горелки; *15* — боковые горелки; *16* — водомер; *17* — бачок для слива воды

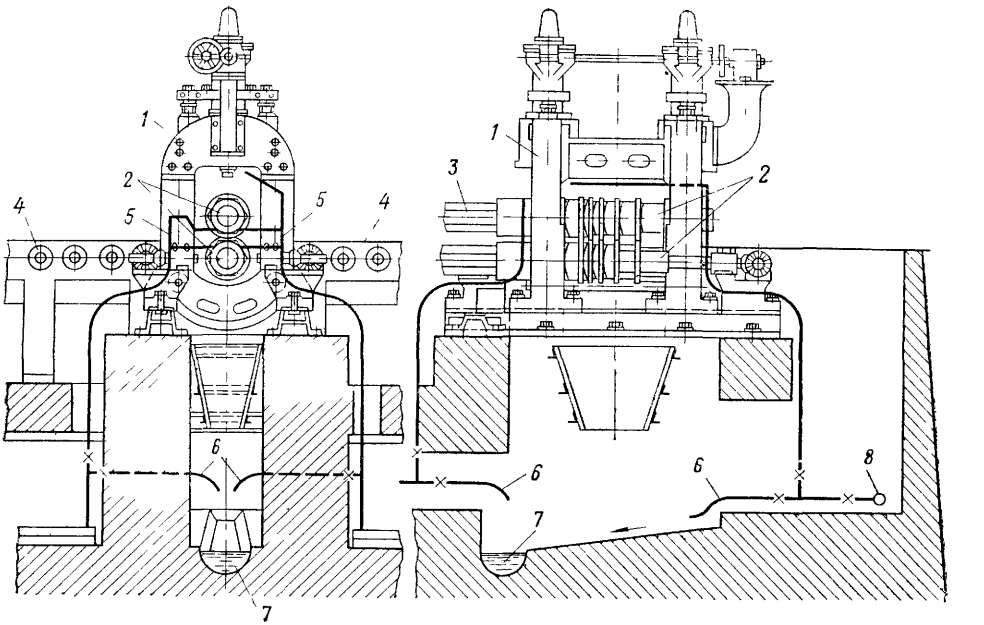


Рис. VII.33

1 — станина; *2* — валки; *3* — привод валков; *4* — рольганг; *5* — подвод воды для охлаждения валков и подшипников, *6* — насадки для смыва окалины *7* — канал для гидравлического транспортирования окалины, *8* — подвод воды к стану

Прокатный стан представляет собой целый комплекс механизмов. Основной частью стана является рабочая клеть, состоящая из станины и валков с приводом (рис. VII 33). Нагретые слитки металла поступают из нагревательных печей к прокатному стану по рольгангам. Неоднократно проходя между валками, слиток обжимается по сечению и вытягивается в длину, превращаясь в длинные балки, прутья, полосы или листы Требуемый окончательный профиль получают путем последовательной прокатки металла через ряд валков, имеющих соответствующую калибровку Станы имеют по две-три и более клетей.

Аналогичным образом изготовляются катаные трубы: нагретая металлическая болванка прошивается стержнем с наконечником и оправляется с наружной стороны валками, в результате получается труба.

В прокатном цехе основная масса воды расходуется на охлаждение валков и подшипников во избежание чрезмерного их нагревания при постоянном соприкосновении с раскаленным металлом; валки поливают водой из расположенных над ними дырчатых труб или желобов. Наиболее ответственно охлаждение подшипников из текстолита или лигностона, на которые передается основная нагрузка валков при прокатке металла; вода служит одновременно смазкой подшипников, поэтому в ней не должно быть механических примесей.

Вода, поливаемая на валки, охлаждает их и смывает окалину, осыпающуюся с прокатываемого металла. Сточная вода поступает под клеть в канал. Основную массу окалины от многих крупных станов можно удалять в вагонетках, устанавливаемых под воронками, через которые ссыпается окалина. На большинстве современных станов ссыпающуюся под стан окалину транспортируют водой до цеховых отстойных ям; для транспортирования окалины расходуется вода, используемая последовательно или повторно (иногда после охлаждения печей). Из отстойных ям крупную окалину выгружают грейферным краном на железнодорожные платформы. Вода расходуется на смыв и транспортирование окалины непрерывно. После цеховых (первичных) отстойников воду дополнительно очищают от мелкой окалины и масла во вторичных отстойниках и затем подают на повторное использование. На некоторых заводах вместо вторичных отстойников стали применять открытые гидроциклоны.

Вода в прокатном цехе расходуется также на охлаждение масла и воздуха (для крупных электродвигателей) в закрытых трубчатых холодильниках. Желательно, чтобы температура охлаждающей воды была не выше 25° С. В некоторых случаях вода идет еще на увлажнение воздуха, подаваемого в машинное отделение или цех. Для этой цели используют воду, обладающую качествами питьевой воды.

Водой охлаждаются многие вспомогательные механизмы — пилы, ножницы и т. п., а также инструменты.

Режим расходования воды на прокатных станах и ее количество весьма различны ввиду разнообразия станов, а также ввиду того, что на одном и том же стане могут прокатываться разные сорта и профили металла.

В некоторых прокатных цехах имеются отделения обработки металла кислотой, где вода расходуется для приготовления раствора кислоты (травильные ванны), периодически заменяемого по мере уменьшения его концентрации (с 20 до 3—5%), для приготовления известкового раствора, также заменяемого периодически, и для промывки металла после травления. В зависимости от типа оборудования травильных отделений и других причин расход воды на травление может колебаться в весьма широких пределах.

Сточные воды из травильных ванн содержат кислоту и железо и в

современных условиях направляются на установку по извлечению из них железного купороса. Стоки от промывки металла после травления поступают на нейтрализацию известью и осветление; сюда же поступает и известковая вода. Нейтрализованные и осветленные сточные воды от промывки металла обычно используются на те же цели с устройством самостоятельного цикла оборотного водоснабжения.

Примерное среднее потребление воды (в м³ на 1 т проката) для нагревательных колодцев, печей и прокатных станов (включая гидрав-

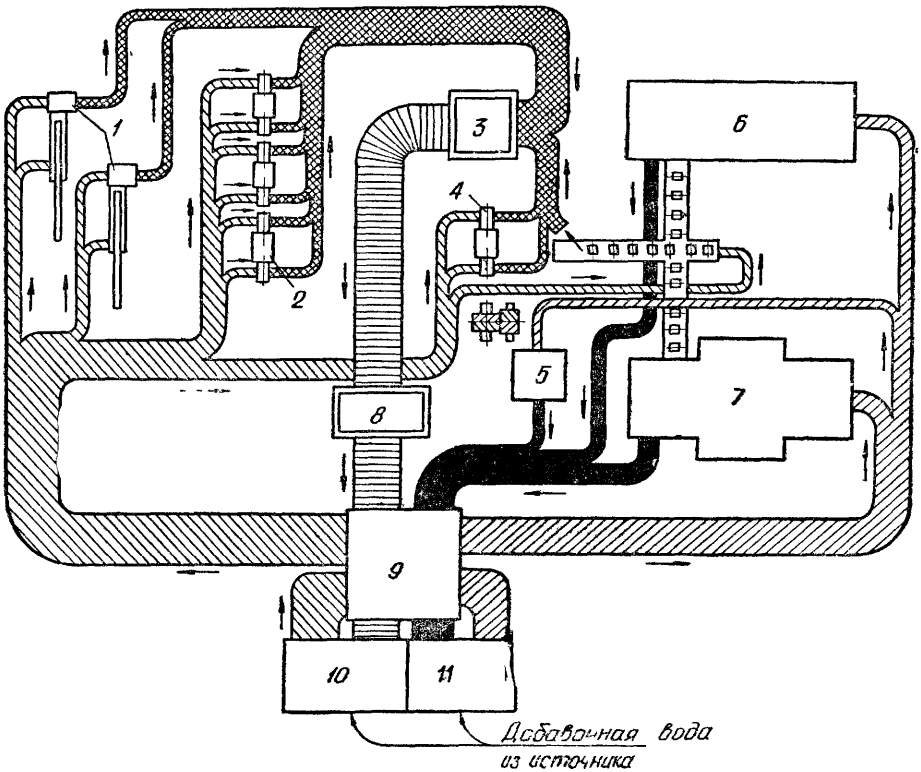


Рис VII 34

1 — ножницы; *2* — прокатные клети; *3* — первичный отстойник (яма окалины); *4* — обжимная клеть *5* — охлаждение масла, *6* и *7* — нагревательная печь № 1 и 2, *8* — вторичный отстойник, *9* — насосная станция оборотной воды, *10* — охладители загрязненной оборотной воды, *11* — охладители чистой оборотной воды

лическое удаление окалины) составляет: крупный сорт и товарные заготовки — 25, прокат сортовой разный — до 53, прокат горячий листовой — 40, прокат мелкосортовой — 63, прокат проволочный — 76, трубы катаные — от 20 до 90. При этом требуется 4—5% свежей воды. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды на прокатные станы колеблется в пределах от 1,15 до 1,5.

Водоснабжение прокатных цехов оборотное, обычно с раздельной (по разным трубам) подачей воды: к нагревательным печам — чистой воды, к прокатным станам — загрязненной воды (рис. VII.34).

В прокатных цехах основное внимание должно быть обращено на обеспечение бесперебойности поступления воды к нагревательным печам. Вода протекает здесь по подовым или глиссажным трубам, по ко-

торым непрерывно передвигаются слитки стали, нагреваемые перед прокаткой. В случае прекращения поступления воды к нагревательным печам через непродолжительное время (как только испарится оставшаяся в трубах вода) глиссажные и подовые трубы сгорают, и продвижение стальных слитков в печи прекращается. В результате нарушается весь цикл прокатки металла, а нагревательные печи требуют ремонта. С целью повышения надежности водоснабжения нагревательных колодцев и печей создается запас воды, хранимый в водонапорной башне и обеспечивающий питание системы водой в течение 20—30 мин.

Прекращение подачи воды к прокатным станам также недопустимо, хотя оно и не представляет здесь такой опасности, как для нагревательных печей. В случае прекращения поступления воды прокатные станы должны быть остановлены во избежание порчи подшипников и валков; допустимо лишь кратковременное снижение подачи воды на 25—30%.

Аналогично потребление воды и в метизных цехах (цехах по изготовлению металлических изделий). Здесь вода расходуется на охлаждение деталей нагревательных, отжигательных и термических печей, иногда на закалку обрабатываемых деталей в количестве от 15 до 500 м³ на 1 т изделий. Применяется система оборотного водоснабжения.

§ 165. ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

В последнее время в нашей стране и за рубежом широко внедряется система испарительного охлаждения металлургических печей (доменных, мартеновских, электроплавильных, нагревательных и вагранок), разработанная д-ром техн. наук проф. С. М. Андоньевым. При испарительном охлаждении тепло от нагретых элементов печи отводится водой, нагревающейся до образования пароводяной эмульсии. При этом используется скрытая теплота парообразования, т. е. тепло, отбираемое охлаждающей водой, затрачивается на ее испарение. В холодильники печи подается вода, освобожденная от солей жесткости и лишенная

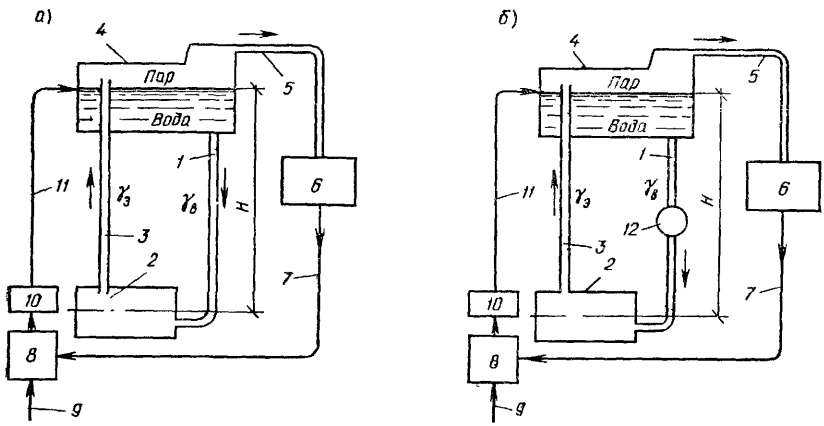


Рис. VII 35

1 — линия охлаждающей воды; *2* — охлаждаемая печь или деталь; *3* — линия пароводяной эмульсии от агрегата, *4* — бак сепаратор пара, *5* — паропровод к потребителям пара *6* — потребители пара; *7* — линия конденсата пара; *8* — химводоочистка, *9* — подача воды из источника; *10* — насосная станция; *11* — линия умягченной воды и конденсата на восполнение потерь воды в системе, *12* — циркуляционный насос системы испарительного охлаждения

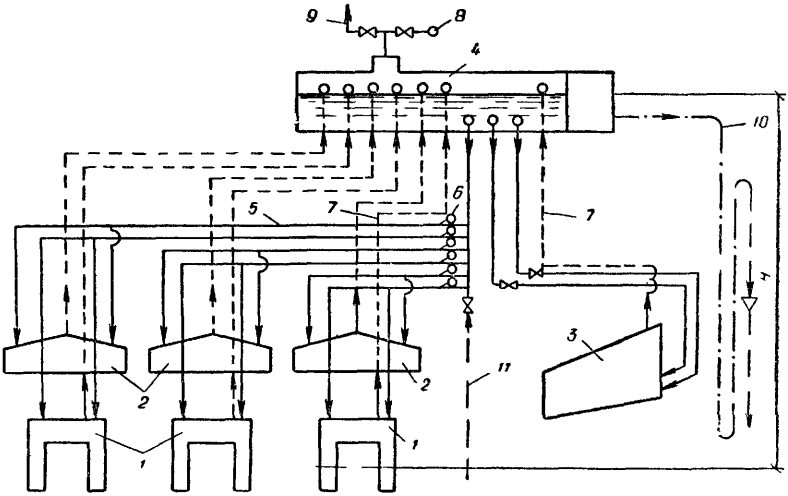


Рис. VII 36

1, *2* и *3* — охлаждаемые детали (рамы завалочных окон, пятовые балки и кессон); *4* — бак-сепаратор пара; *5* — система питающих труб; *6* — регулировочные вентили; *7* — система труб, отводящих пароводяную эмульсию; *8* — коллектор пара; *9* — выпуск пара в атмосферу; *10* — гидрозатвор (труба); *11* — подвод добавочной воды

коррозионных свойств. Получаемый пар используется на технологические нужды завода.

На рис. VII.35 приведены две схемы испарительного охлаждения металлургических печей: *а* — с естественной циркуляцией воды и *б* — с принудительной циркуляцией воды.

Расход воды в м³/ч при испарительном охлаждении может быть определен по формуле

$$W = \frac{Q}{[539 + (t_2 - t_1)\,c]10^3},$$

где 539 — скрытая теплота парообразования в ккал/кг;

t_1 — температура воды, поступающей в холодильники, принимаемая равной около 97° С;

t_2 — температура пароводяной эмульсии, отходящей от холодильников, принимаемая равной около 105° С.

При испарительном охлаждении 1 кг воды, испаряясь, отбирает у охлаждаемой детали 539 ккал. Кроме того, поступающая в систему вода, нагреваясь до кипения, отбирает еще 70 ккал. Чтобы отобрать такое же количество тепла при водяном охлаждении при повышении температуры воды на 10° С потребовалось бы $(539+70)/10 \approx 60$ кг воды, т. е. в 60 раз больше, чем при испарительном охлаждении.

В схеме с естественной циркуляцией вода, нагретая теплом охлаждаемого элемента, циркулирует в трубах через расположенный на высоте H бак-сепаратор под действием разности удельных весов воды $\gamma_в$ и пароводяной эмульсии $\gamma_э$; при этом $\gamma_в > \gamma_э$ и движущая сила в кгс/м² равна:

$$P_д = H(\gamma_в - \gamma_э).$$

В схеме с принудительной циркуляцией вода из бака-сепаратора подается к детали с помощью специального насоса, при этом давление в системе может быть доведено до 18—40 кгс/см².

Схема испарительного охлаждения одной половины 130-тонной газовой мартеновской печи с естественной циркуляцией воды показана на рис. VII.36.

Испарительное охлаждение имеет следующие достоинства: 1) вода необходима на охлаждение деталей лишь нижнего строения металлур-

гических печей, т. е требуется примерно 30% ее общего расхода при водяном охлаждении; 2) обеспечивается надежность работы печи и сокращаются ее простои для ремонта охлаждаемых деталей; 3) используется тепло охлаждающей среды в виде пара; 4) уменьшаются в три раза объем сооружений и мощность системы водоснабжения

До настоящего времени системы испарительного охлаждения доменных печей резервируются устройством водяного охлаждения, что вызывает дополнительные капиталовложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Покровский В. Н Водоснабжение тепловых электрических станций М, Госэнергоиздат, 1958

Шабалин А Ф Водоснабжение и водоотведение на предприятиях черной металлургии М, Металлургиздат, 1955

Шабалин А Ф Оборотное водоснабжение промышленных предприятий М, Стройиздат, 1972

Шабалин А Ф Эксплуатация промышленных водопроводов М, «Металлургия», 1972

Глава 33

СИСТЕМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Сельское хозяйство является одной из ведущих отраслей народного хозяйства. В сельской местности проживает немногим меньше половины населения нашей страны. Рост благоустройства сельских поселков, а также развитие сельскохозяйственного производства в последние годы предопределили высокие темпы развития сельскохозяйственного водоснабжения.

Вода в сельском хозяйстве расходуется в значительных количествах на хозяйственно-питьевые нужды населения, на животноводческих фермах, на предприятиях по первичной переработке сельскохозяйственной продукции, на приготовление жидких подкормок для пропашных культур, на охлаждение двигателей сельскохозяйственных машин и автомобилей, на полив растений в парниках и теплицах.

Для удовлетворения перечисленных потребностей в воде используются системы сельскохозяйственного водоснабжения, а для полива всевозможных сельскохозяйственных культур в открытом грунте — оросительные системы.

При проектировании систем сельскохозяйственного водоснабжения следует пользоваться строительными нормами и правилами, а также соответствующими ведомственными указаниями и рекомендациями.

Системы сельскохозяйственного водоснабжения по их назначению можно подразделить на следующие группы: 1) системы водоснабжения поселков совхозов и колхозов, а также ремонтно-технических станций; 2) системы водоснабжения животноводческих промышленных комплексов и отдельно стоящих ферм; 3) системы пастбищного водоснабжения; 4) системы полевого водоснабжения. Каждая из перечисленных групп имеет свои специфические особенности в части организации водоснабжения и его схемы.

§ 166. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОСЕЛКОВ СОВХОЗОВ И КОЛХОЗОВ

Эти системы подают воду на нужды населения, животноводства, парка сельскохозяйственных машин и автомобилей, ремонтных мастерских, предприятий по первичной переработке сельскохозяйственных продуктов (маслозаводы и др.), для полива растений в теплицах и парниках и для пожаротушения.

В качестве источников водоснабжения сельских населенных мест в первую очередь стремятся использовать подземные воды и только в тех случаях, когда качество их оказывается неудовлетворительным или дебит подземных источников мал, используются воды поверхностных источников.

При наличии хорошо защищенных с поверхности подземных вод, качество которых отвечает требованиям ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая», система водоснабжения сельского поселка будет состоять из водозаборного сооружения в виде двух или нескольких трубчатых колодцев,

оборудованных погружными насосами, из регулирующих резервуаров, насосной станции второго подъема и разводящей сети.

На насосной станции второго подъема устанавливают хозяйственные насосы с производительностью, позволяющей подавать и пиковые, и минимальные расходы воды, а также пожарный насос, параметры которого обеспечивают тушение пожара непосредственно из пожарных гидрантов (без пожарной машины).

В здания административного и культурно-бытового назначения, в больницы, детские сады, ясли и многоэтажные жилые здания, а также

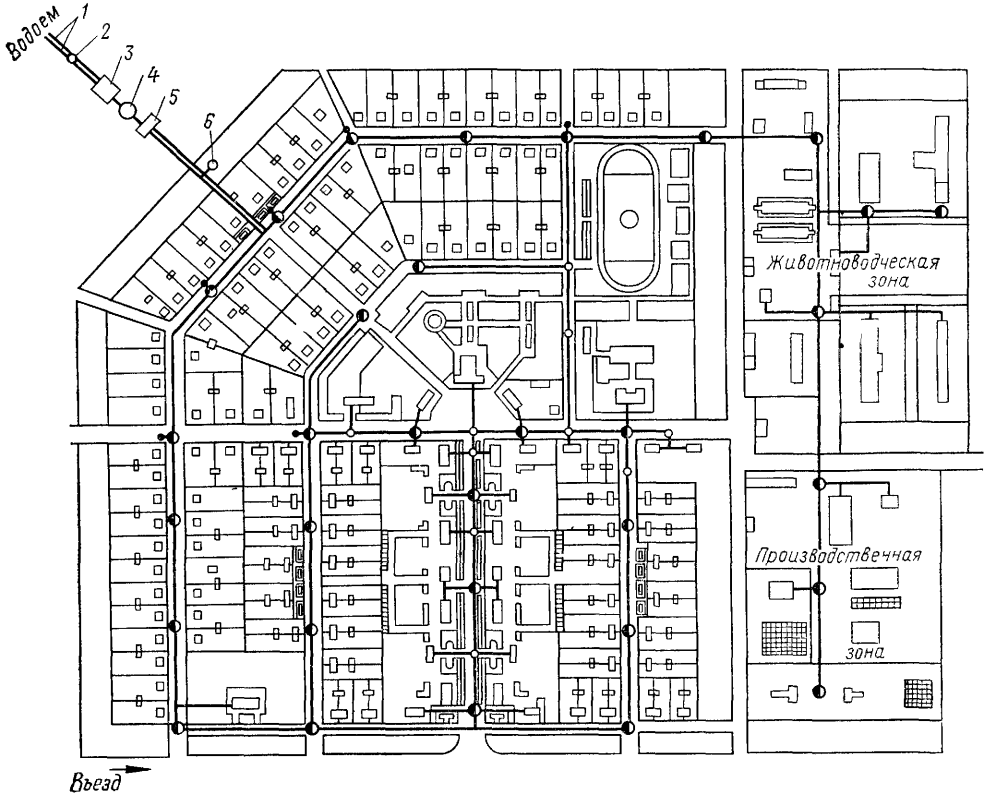


Рис. VIII.1

1 — самотечные линии от водоприемного оголовка, *2* — береговой колодец с насосной станцией первого подъема; *3* — очистные сооружения; *4* — резервуар; *5* — насосная станция второго подъема; *6* — водонапорная башня

в помещения ремонтно-механических мастерских и животноводческих ферм устраиваются водопроводные вводы. Население, проживающее в одноэтажных жилых зданиях, получает воду, как правило, из водоразборных колонок.

В тех случаях, когда качество подземных вод не отвечает требованиям ГОСТ к питьевой воде, система водоснабжения дополняется устройствами для обработки воды. Такая система водоснабжения обеспечивает сельское население доброкачественной и сравнительно дешевой водой.

При использовании для целей водоснабжения поверхностного ис-

точника (реки, озера) система водоснабжения меняется в отношении типа водоприемного сооружения, а также сооружений для очистки и обеззараживания воды.

Система водоснабжения центральной усадьбы совхоза с использованием поверхностного источника показана на рис. VIII.1.

В системах сельскохозяйственного водоснабжения широкое применение нашли безреагентные способы осветления воды на медленных фильтрах.

В ряде сельскохозяйственных районов нашей страны подземные воды сильно минерализованы, а поверхностные источники не обеспечивают необходимого количества воды в засушливые периоды. В таких случаях для водоснабжения совхозов и колхозов воду забирают из многоводных надежных источников, иногда значительно удаленных от водопотребителей. Поскольку подвод воды на большое расстояние обходится дорого, целесообразно устраивать общую систему водоснабжения для группы хозяйств. Так, в районах освоения целинных земель построены и строятся групповые водопроводы для водоснабжения совхозов и колхозов. Наиболее крупные из них Ишимский и Булаевский групповые водопроводы подают воду 420 населенным пунктам; суточная производительность их фильтровальных станций составляет 120 тыс. м^3, протяженность сетей магистральных водоводов равна 3500 км. На рис. VIII.2 приведена схема одного из групповых водопроводов, построенного в Центральном Казахстане.

Несколько более мелких групповых систем водоснабжения имеется в Ставропольском крае, степной части Крыма, в Голодной степи. Распространены групповые системы водоснабжения и на Кавказе.

Нередки случаи, когда для водоснабжения совхозов и колхозов вода забирается из каналов обводнительно-оросительных систем.

В районах с дефицитом пресных вод для водоснабжения сельских поселков используют и минерализованные воды подземных и поверхностных источников. При этом минерализованная вода опресняется до необходимых пределов для хозяйственно-питьевых нужд и для других целей.

Учитывая, что опреснение воды существующими способами обходится дорого, рекомендуется устраивать дуплексные системы водоснабжения, т. е. системы, подающие и пресную, и минерализованную воду. На рис. VIII.3 показана схема головных сооружений дуплексной системы водоснабжения.

§ 167. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ФЕРМ

Системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов обеспечивают подачу воды в необходимом количестве и соответствующего качества всем потребителям, а также на противопожарные нужды.

Расчетные размеры водопотребления определяются в соответствии с приведенными в § 170 нормами.

Расчетный расход воды на наружное пожаротушение в животноводческом комплексе или на ферме в зависимости от их размера колеблется от 5 до 20 л/с при продолжительности тушения пожара 3 ч.

Расходы воды в животноводческих комплексах достигают следующих величин (в м^3/сутки):

комплекс по производству молока (1200 голов) . .	380
» » » говядины (10 тыс. голов) .	600
» » » свинины (108 тыс. голов) .	3000

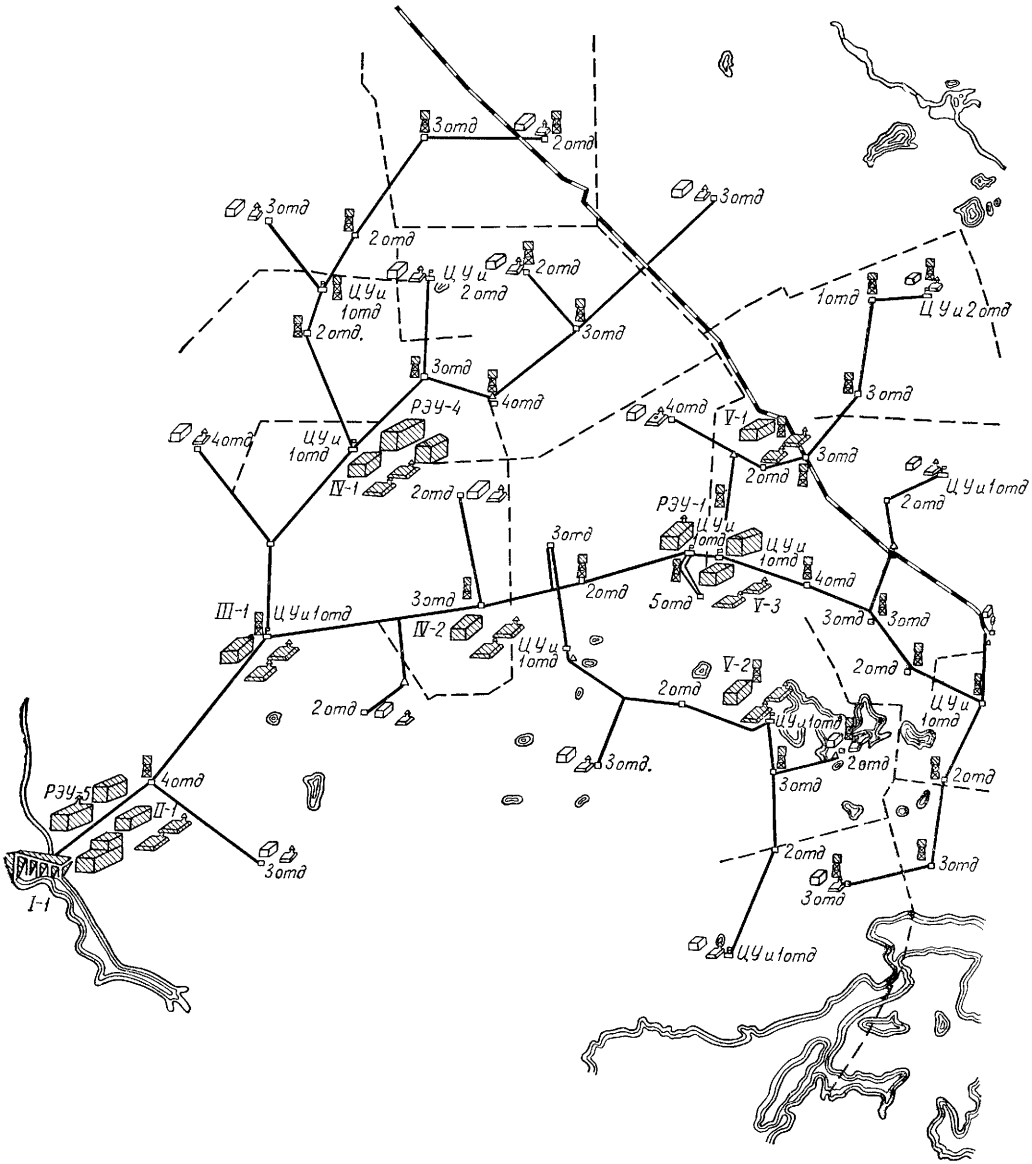
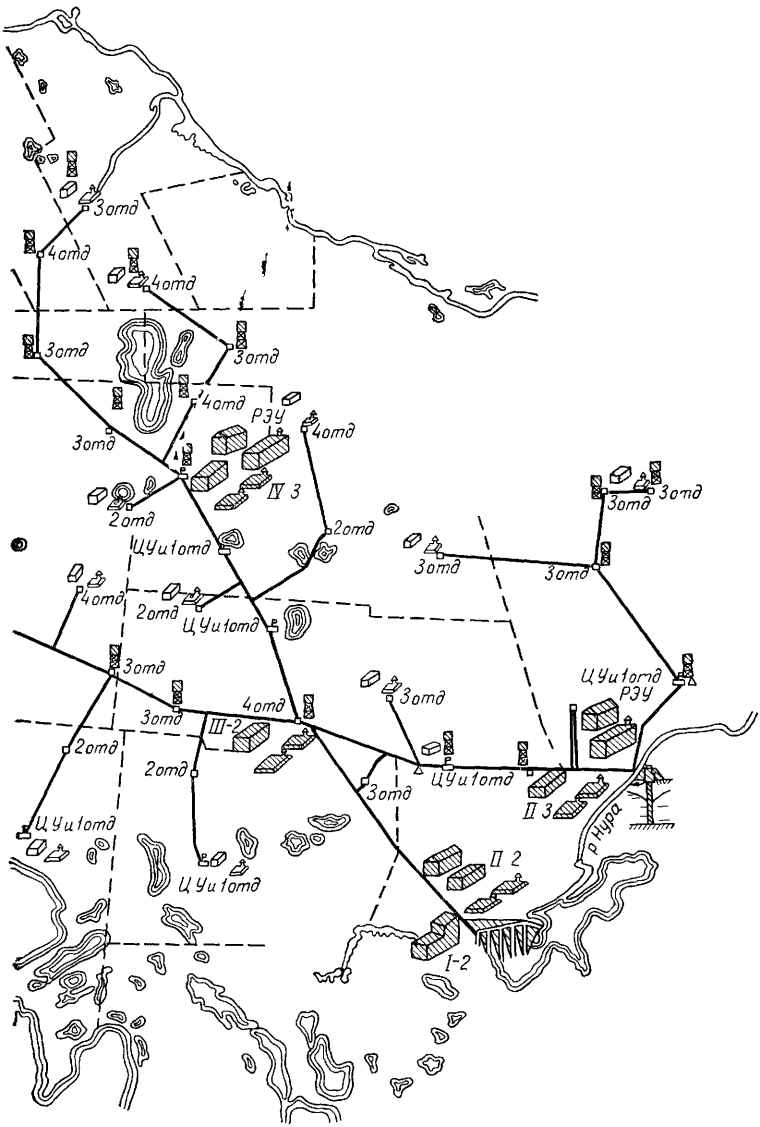

3отд
2отд
ЦУи
1отд
4отд
РЭУ-4
IV-1
III-1
IV-2
РЭУ-1
V-1
V-2
V-3
5отд
РЭУ-5
II-1
I-1
ЦУи1отд
ЦУи2отд

Рис. VIII.2



Магистральные водоводы
Границы совхозов
Центральные усадьбы совхозов
Отделения совхозов
Хлебоприемные пункты
Железнодорожные станции
Насосные станции II III IV V подъемов
Тупиковые насосные станции
Насосные станции подкачки
Временные водонапорные башни
Жилпоселки
Ремонтно эксплуатационные участки
Очистные сооружения
Гидроузел с насосной станцией I подъема
Скважинные водозаборы

Наиболее распространенная схема механизированного водоснабжения животноводческих ферм состоит из следующих сооружений: водозабора с насосной станцией, разводящей сети и регулирующих сооружений (водонапорной башни и резервуара для хранения противопожарного запаса воды). В случаях, когда этого требует качество воды источника, схема водоснабжения дополняется сооружениями по очистке и обеззараживанию воды.

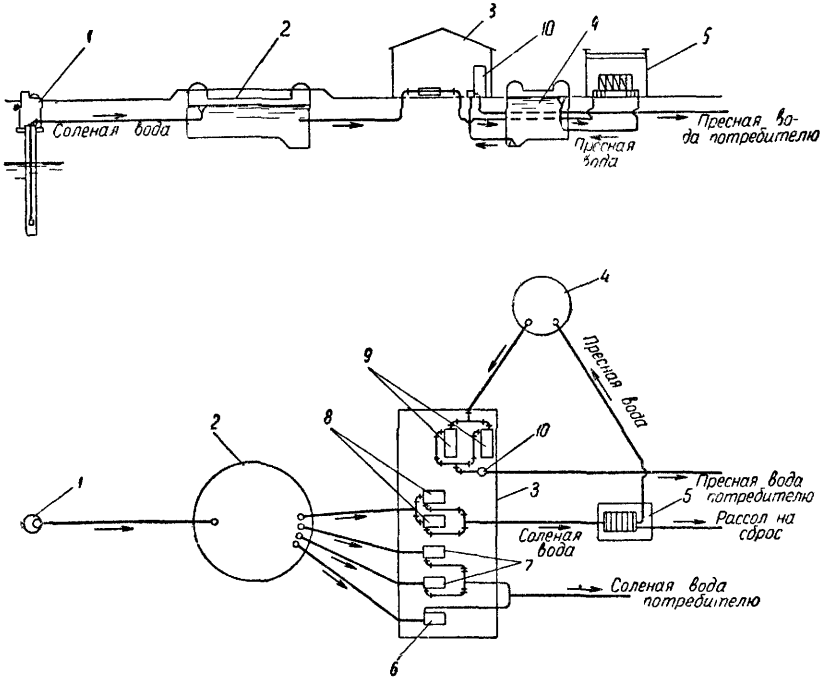


Рис. VIII.3

1 — водозабор и насосная станция первого подъема; *2* — резервуар соленой воды; *3* — *насосная станция второго подъема*; *4* — *резервуар пресной воды*; *5* — опреснительная установка; *6* — пожарный насос, *7* — насосы, подающие соленую воду потребителю; *8* — насосы, подающие соленую воду на опреснитель; *9* — насосы, подающие пресную воду потребителю, *10* — пневматическая установка

На рис. VIII.4 представлена наиболее распространенная схема водоснабжения животноводческой фермы (на 400 молочных коров). Из трубчатого колодца вода забирается погружным электронасосом и подается в водонапорную башню и разводящую сеть животноводческой фермы. Практикой установлено, что емкость бака водонапорной башни должна быть равна 12—15% расчетного суточного расхода воды на ферме. Типовые водонапорные башни для животноводческих ферм имеют баки емкостью 25 м^3.

Камеры насосных станций на трубчатых колодцах, водонапорные и регулирующие сооружения, а также смотровые колодцы на водопроводной сети выполняют из сборных железобетонных конструкций.

Водопроводную сеть выполняют из асбестоцементных или полиэтиленовых труб, а вводы в скотные дворы и другие помещения на ферме — из чугунных труб.

В промышленных животноводческих комплексах применяются безбашенные системы водоснабжения высокого давления.

Для водоснабжения ферм с расходом воды до 40 м^3/сутки часто ис-

пользуются близко расположенные к поверхности земли подземные воды, забираемые шахтными колодцами. В этих случаях для подъема воды применяются автоматические пневматические установки.

На рис. VIII.5 приведена схема насосной установки для пневматической системы водоснабжения с забором воды из шахтного колодца, оборудованного пневматической автоматической установкой ВУ-5-30. Производительность установки 5 м³/ч, напор 30 м.

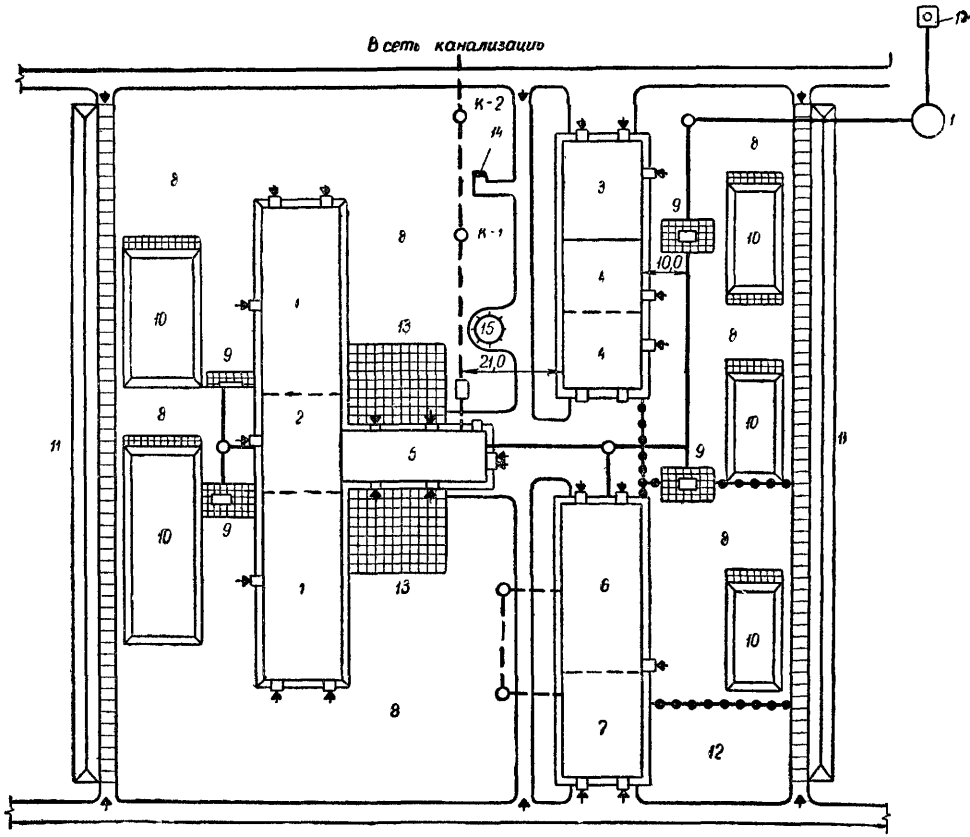


Рис. VIII.4

1 и *2* — секции для коров; *3* и *4* — секции для ремонтного молодняка; *5* — доильное помещение; *6* — телятник; *7* — родильное отделение; *8* — выгульные дворы; *9* — групповые поилки; *10* — силосные траншеи; *11* — склады грубых кормов; *12* — хозяйственный двор; *13* — преддоильная площадка; *14* — уборная; *15* — пожарный резервуар емкостью 100 м³; *16* — водонапорная башня; *17* — трубчатый колодец с насосной станцией

Принцип действия установки ВУ-5-30 заключается в следующем. При разборе воды на ферме давление в сети падает. Когда давление в сети упадет до нижнего предела, на который отрегулировано реле давления, насос включается и работает до того момента, пока давление воздуха в воздушно-водяном котле не достигнет верхнего предела, на который также отрегулировано реле давления. Воздушно-водяной котел имеет небольшой регулирующий объем воды. Таким образом, при малом расходе воды на ферме установка будет включаться редко, но в часы, когда расход воды равен производительности насоса, установка будет работать непрерывно до тех пор, пока расход на ферме не уменьшится. При этом насос поднимает давление в воздушно-водяном котле до верхнего предела и реле давления выключает электродвигатель насоса.

По такому же принципу работает установка с погружным насосом (ВУ-7-65). Эта установка предназначена для подъема воды из трубчатых колодцев диаметром 150 мм с динамическим уровнем воды, находящимся на глубине до 40 м. Производительность установки 7,5 м³/ч, напор до 65 м.

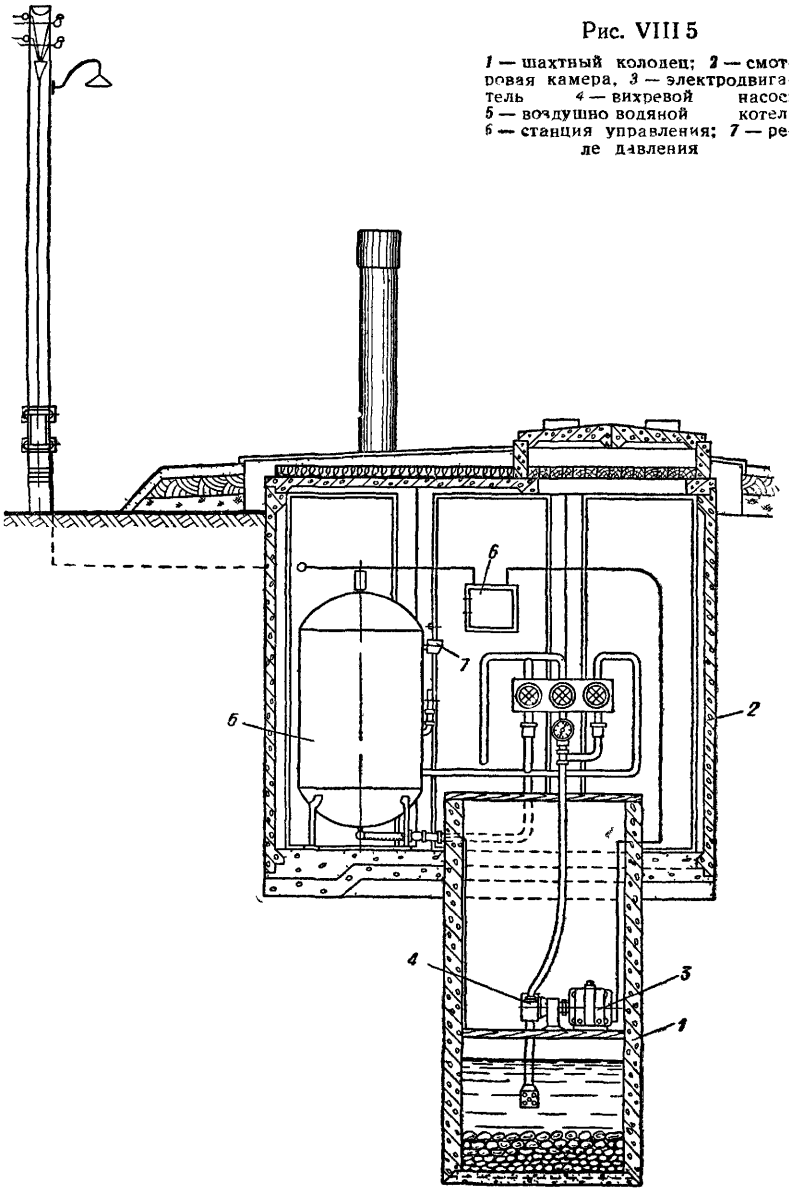


Рис. VIII 5

1 — шахтный колодец; *2* — смотровая камера, *3* — электродвигатель *4* — вихревой насос; *5* — воздушно водяной котел, *6* — станция управления; *7* — реле давления

§ 168. СИСТЕМЫ ПАСТБИЩНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

На естественных пастбищах пустынной и полупустынной зон Средней Азии и Казахстана, дающих народному хозяйству нашей страны 40% мяса, 60% шерсти и 100% каракуля, водоснабжение осуществляется в основном с помощью водопойных пунктов.

Обеспечение нужд животноводства в воде в этих зонах представляет

собой сложную задачу, решение которой зависит от характера источника водоснабжения и других местных условий.

Расходы воды на водопойных пунктах невелики, обычно от 5 до 20 м³/сутки, так как принято, что водопойный пункт должен обслуживать

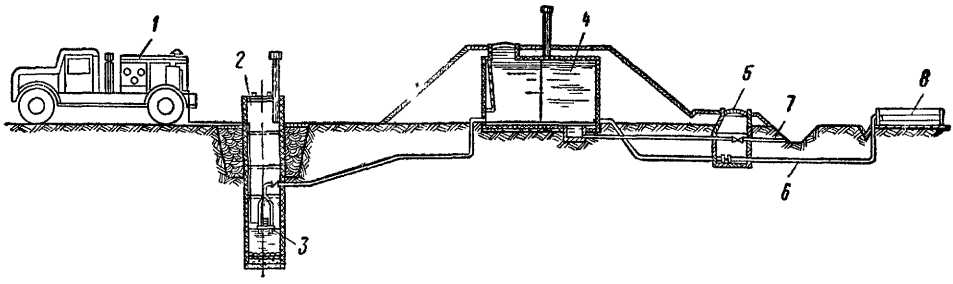


Рис VIII 6

1 — передвижная электростанция *2* — шахтный колодец *3* — плавающий насос, *4* — резервуар емкостью 10 м³, *5* — смотровой колодец, *6* — подающая труба, *7* — грязевая труба, *8* — водопойное корыто

не более 2000 голов овец, или 250 голов крупного рогатого скота, или 250 лошадей.

Режим водопотребления на водопойных пунктах имеет свои особенности. Летом в жаркие дни скот пригоняют на водопой 2—3 раза. Таким образом, суточная потребность в воде покрывается за два-три приема. Зимой скот на пастбищах потребляет значительно меньше воды. Это следует иметь в виду при проектировании водоснабжения на пастбищах.

На водопойных пунктах для поения скота допускается использование воды непитьевого качества. Минеральный состав воды должен отвечать требованиям, приведенным в табл VIII.4 (см. далее). Для людей, обслуживающих скот на пастбищах, вода должна отвечать требованиям ГОСТ 2874—73. Норма водопотребления для людей принимается в размере 30—40 л/сутки на одного человека. Из этого количества на питье и приготовление пищи воды расходуется примерно 10—15%, т. е. требуется в день на человека 4—6 л воды питьевого качества.

Если учесть, что бригада чабанов состоит из трех человек, то с учетом коэффициента семейности количество потребителей воды питьевого качества составит 10—15 человек, а размер водопотребления около 100 л/сутки.

В зависимости от наличия источников с водой питьевого качества следует решать схему снабжения водой чабанов и членов их семей.

В ряде случаев эту воду подвозят на расстояние до 20 км от источников питьевой воды или воды, требующей минимальных затрат на ее очистку.

Деминерализация воды, ее очистка и обеззараживание в необходимых случаях производятся с помощью передвижных установок, обслуживающих группу бригад чабанов.

Схема водоснабжения водопойного пункта состоит из следующих сооружений: водозабора с водоподъемной установкой, регулирующей емкости и водопойной площадки с корытами.

На рис. VIII.6 приведена схема водоснабжения водопойного пункта с забором воды из шахтного колодца и питанием насоса электроэнергией от передвижной электростанции.

На пустынных пастбищах южных районов для подъема воды из шахтных и трубчатых колодцев могут использоваться возобновляемые источники энергии (ветер и солнце). При применении водоподъемных устано-

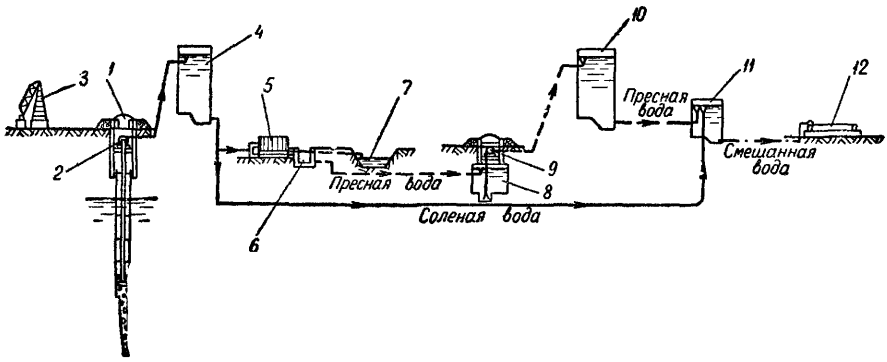


Рис. VIII.7

1 — шахтный колодец; *2* — насос для подъема соленой воды; *3* — солнечная энергетическая установка; *4* — резервуар соленой воды; *5* — парниковый опреснитель, *6* — фильтр отстойник дистиллята; *7* — выпарная площадка рассола; *8* — резервуар-сборник пресной воды; *9* — насос для подъема пресной воды; *10* — резервуар пресной воды; *11* — резервуар-смеситель для воды; *12* — водопойная площадка

вок с приводом от ветра или солнечных генераторов необходимо предусматривать резервную емкость для воды на период безветрия или отсутствия солнца. Эти источники энергии могут использоваться также и для опреснения воды. На рис. VIII.7 показана технологическая схема размещения оборудования и сооружений водопойного пункта с использованием энергии солнца для подъема и опреснения воды. По такой схеме построен водопойный пункт в пустыне Кара-Кум.

В ряде пастбищных районов Кавказа и Средней Азии не представляется возможным для каждого водопойного пункта иметь свои источники водоснабжения. В таких случаях строят групповые системы водоснабжения, базирующиеся на надежном источнике воды с центральным водозабором, обслуживающим с помощью сети водоводов группу водопойных пунктов. На некоторых пастбищах Казахстана воду доставляют на водопойные пункты в автоцистернах.

Водопойные пункты на пастбищах размещают в соответствии с принятыми «радиусами водопоя», т. е. расстояниями от водопойного пункта до наиболее удаленной точки пастбищного участка, обслуживаемого данным водопойным пунктом.

Сгущенность сети водопойных пунктов устанавливается технико-экономическими расчетами в зависимости от кормовой ценности пастбищ.

Выбор схемы водоснабжения водопойных пунктов на пастбищах должен решаться путем анализа технико-экономических показателей различных вариантов (локальная схема, групповая схема, подвоз воды и т. д.).

§ 169. СИСТЕМЫ ПОЛЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Особенность этих систем водоснабжения заключается прежде всего в сезонном характере их работы. Полевые, или, как их еще называют, бригадные станы работают с ранней весны и до поздней осени. В этот период система водоснабжения полевого стана должна обеспечить людей, работающих в поле, водой питьевого качества, а двигатели автомобилей, тракторов, комбайнов и других сельскохозяйственных машин — водой с жесткостью не более 7 мг-экв/л из расчета 1 л/сутки на 1 л. с. их мощности.

На полевых станах, обслуживающих пропашные культуры, необходимо предусматривать подачу воды для жидкой подкормки растений. В этих случаях суточные расходы воды могут достигать 1000—1200 м³.

Расход воды на полевом стане, обслуживающем колосовые культуры, составляет 10—15 м³/сутки, в том числе 2—3 м³/сутки воды питьевого качества.

Решение схемы водоснабжения полевого стана зависит главным образом от источника водоснабжения.

При наличии подземных вод питьевого качества с жесткостью не более 7 мг-экв/л схема водоснабжения полевого стана будет состоять из водозабора с водоподъемной установкой, регулирующей емкости, водоразборной колонки для снабжения водой людей и крана для заправки водой двигателей сельскохозяйственных машин.

При использовании источников, воды которых требуют очистки, обеззараживания и умягчения, в схему водоснабжения включается установка по улучшению качества воды. Обычно для этой цели используются передвижные установки по очистке, обеззараживанию и умягчению воды, которые монтируются на автоприцепах и обслуживают несколько полевых станов.

Здесь, так же как и в случае пастбищного водоснабжения, возможна подвозка воды автоцистернами и широкое применение для подъема воды ветродвигателей.

Глава 34

НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ

§ 170. НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Одна из главных особенностей сельскохозяйственного водоснабжения — специфические потребители воды.

Что касается сельского населения, то его требования к воде как в количественном, так и в качественном отношении аналогичны требованиям городского населения. Норма расхода воды назначается в соответствии со степенью благоустройства застройки села по табл. I.1, при этом, учитывая разницу уровней коммунального обслуживания в селе и городе, рекомендуется принимать нижний предел нормы.

Режим водопотребления жилой зоны в сельских поселках характеризуется графиками, представленными на рис. VIII.8 (данные УкрНИИГиМа).

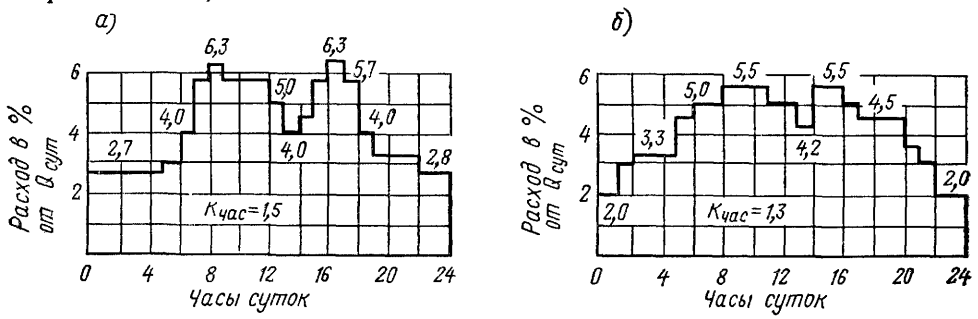


Рис. VIII.8

а — при водопотреблении 200—500 м³/сутки, *б* — при водопотреблении 500—1200 м³/сутки

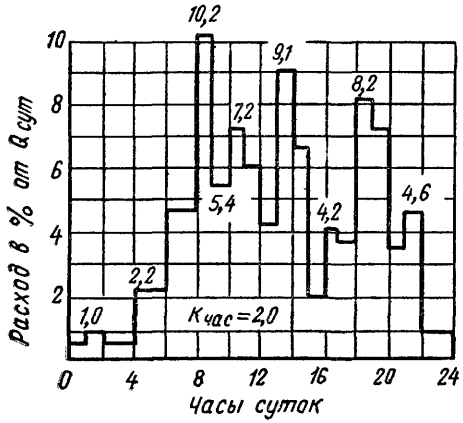


Рис. VIII.9

Таблица VIII.1

Группа животных	Норма потребления воды в л/сутки на одну голову	
	холодной	горячей
Коровы:		
молочные . . .	85/65	15
мясные	70/65	—
Бычки, нетели . . .	55/40	5
Телята	18/10	2
Молодняк	28/25	2

Примечание. В знаменателе приведена норма водопотребления на поение животных. Остальное количество воды идет на приготовление кормов, охлаждение молока, мойку оборудования, уборку производственных помещений и мытье животных. Коэффициент часовой неравномерности равен 2,5.

Расходы воды для производственной зоны поселка совхоза или колхоза (ремонтно-механических мастерских, электростанции, предприятий по первичной переработке сельскохозяйственных продуктов и др.) определяются в соответствии с требованиями технологической части проектов на объекты, составляющие комплекс производственной зоны.

Размеры водопотребления сельских поселков колеблются в широких пределах — от нескольких десятков до нескольких тысяч кубометров в сутки. Это зависит главным образом от направления хозяйства. Так, в хозяйствах зернового направления расходы воды в пересчете на одного жителя меньше, чем в хозяйствах животноводческого направления. Водопотребление для типовых центральных усадеб зерновых совхозов юга страны обычно составляет 1000—1500 м³/сутки.

Большое количество воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения потребляется животноводством.

Таблица VIII.2

Группа животных	Норма потребления воды в л/сутки на одну голову
Хряки - производители	25/10
Матки:	
супоросные холостые	25/12
подсосные с приплодом	60/20
Отъемыши	5/2
Ремонтный молодняк	15/6
Свиньи на откорме .	15/6

Примечание. В знаменателе приведена норма водопотребления на поение животных. Остальное количество воды идет на приготовление кормов, мойку оборудования и уборку производственных помещений. Коэффициент часовой неравномерности равен 2,5.

Таблица VIII.3

Вид птиц	Норма потребления воды в л/сутки на одну голову для птиц	
	взрослых	молодняка
Куры	1	0,5
Индейки	1,5	0,75
Утки и гуси . .	2	1

Примечание. Расходуемое количество воды распределяется следующим образом: поение — 50%; приготовление влажных кормов — 20%; мойка оборудования и мытье полов в птичниках при клеточном содержании птиц — 20%; сток от проточных поилок — 10%. При сухом кормлении расход воды составляет 70% общей нормы водопотребления. Коэффициент часовой неравномерности равен 2,5.

Для крупного рогатого скота, который содержится на механизированных фермах и в промышленных животноводческих комплексах, норма водопотребления принимается согласно табл. VIII.1.

Примерный расчетный график почасового водопотребления на фермах крупного рогатого скота с автопоением и механизированным доением приведен на рис. VIII.9.

Для свиноводческих ферм и комплексов норма водопотребления приведена в табл. VIII.2.

В жарких и сухих районах норму водопотребления допускается увеличивать, но не более чем на 25%. Расход воды на удаление навоза принимается отдельно в размере от 4 до 10 л на одну голову скота (зависит от способа удаления навоза).

При проектировании водоснабжения птицеферм и птицефабрик пользуются значениями нормы водопотребления, приведенными в табл. VIII.3.

Расход воды на поение овец и коз (на одну голову) составляет: для взрослых животных — 10 л/сутки, для молодняка — 6 л/сутки.

Расход воды на поение лошадей принимается равным 50 л/сутки на одну голову.

§ 171. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ

Животноводческий комплекс или ферма должны быть обеспечены водой питьевого качества в соответствии с ГОСТ 2874—73. При невозможности подачи воды питьевого качества на все нужды фермы (в районах с дефицитом пресной воды) для поения животных, приготовления кормов, уборки помещений и мытья животных допускается применять минерализованную воду. Предельно допустимая минерализация скотопойной воды приведена в табл. VIII.4.

Таблица VIII.4

Группа животных	Предельно допустимая минерализация воды			
	сухой остаток	хлориды	сульфаты	общая жесткость в мг-экв/л
	в г/л			
Крупный рогатый скот . . .	1,8—2,4	0,4—0,6	0,6—0,8	14—18
Свиньи	1—1,2	0,35—0,4	0,5—0,6	12—14
Овцы и козы	3—5	1,5—2	1,7—2,4	30—45
Лошади	1	0,35—0,4	0,5	12—15

Примечание. Верхние пределы относятся к взрослым животным, нижние — к молодняку.

При мембранных методах опреснения (электродиализ и гиперфильтрация) требуемые уровни минерализации легко могут быть достигнуты, однако при этом солевой состав воды ограничивается в основном натрием и хлоридами, что, по-видимому, не может компенсировать (в физиологическом отношении) разнообразия ионного состава подземных вод. В связи с этим должна быть предусмотрена возможность применения дополнительных приемов улучшения качества опресненной воды.

Рекомендуемая температура воды для поения животных 5—15° С. Теплая вода плохо утоляет жажду у животных. Слишком холодная вода уменьшает продуктивность скота и вызывает необходимость повышенного расходования кормов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Оводов В. С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. М., Сельхозгиз, 1960.

Пащенков Я. М., Карамбиров Н. А. и Грибанов И. П. Сельскохозяйственное водоснабжение, буровое дело и насосные станции. М., Сельхозгиз, 1957.

Приложение I

ТАБЛИЦА ПРЕДЕЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ДЛЯ ЧУГУННЫХ ТРУБ

Условный проход в мм	Предельные экономические расходы в л/с при значениях эковомического фактора $Э$		
	0,5	0,75	1
100	6,4—10,6	5,7—9,4	5,2—8,4
125	10,6—16,8	9,4—15	8,4—13,3
150	16,8—28,3	15—25,3	13,3—22,4
200	28,3—51,2	25,3—45,8	22,4—40,6
250	51,2—82,2	45,8—73,5	40,6—65,3
300	82,2—121	73,5—108	65,3—96
350	121—167	108—149	96—132
400	167—220	149—197	132—175
450	220—286	197—254	175—227
500	286—394	254—352	227—313
600	394—581	352—518	313—461
700	581—808	518—722	461—642
800	808—1080	722—966	642—857
900	1080—1396	966—1250	857—1110
1000	1396—1930	1250—1725	1110—1532
1200	1930—4690	1725—4100	1532—3730

Приложение II

ТАБЛИЦЫ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРУБ

Таблица 1

Расчетные значения удельных сопротивлений s_0 (для Q в м³/с) для чугунных водопроводных труб (изготовляемых по ГОСТ 5525—61 и ГОСТ 9583—61) при $v \geqslant 1{,}2$ м/с

Условный проход d в мм	s_0	Условный проход d в мм	s_0	Условный проход d в мм	s_0
класс ЛА		класс А			
100	311,7	350	0,4365	800	0,005669
125	96,72	400	0,2189	900	0,003047
150	37,11	450	0,1186	1000	0,001750
200	8,092	500	0,06778	1200	0,006625
250	2,528	600	0,02596	—	—
300	0,9485	700	0,01154	—	—

Таблица 2

Расчетные значения удельных сопротивлений s_0 (для Q в м³/с) для стальных водопроводных труб (изготовляемых по ГОСТ 3262—62 и ГОСТ 10704—63) при $v \geqslant 1{,}2$ м/с

ГОСТ 3262—62		ГОСТ 10704—63	
условный проход d в мм	s_0	условный проход d в мм	s_0
50	11 080	100	172,9
70	3 009	125	76,36
80	1167	150	30,65
100	281,3	175	20,79
125	86,22	200	6,959
150	33,94	250	2,187
		300	0,8466
		350	0,3731
		400	0,1859
		450	0,09928
		500	0,05784
		600	0,02262
		700	0,01098
		800	0,005514
		900	0,002962
		1000	0,001699
		1200	0,0006543
		1400	0,0002916
		1500	0,0002023
		1600	0,0001437

Таблица 3

Поправочные коэффициенты δ_1 к расчетным значениям удельных сопротивлений s_0 для чугунных и стальных труб при скоростях $v < 1{,}2$ м/с

Скорость v в м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
δ_1	1,41	1,28	1,2	1,15	1,11	1,085	1,06	1,04	1,03	1,015

Таблица 4

Расчетные значения удельных сопротивлений s_0 (для Q в м³/с) для асбестоцементных труб различных классов (изготовляемых по ГОСТ 539—65) при скорости движения воды $v = 1$ м/с

Условный проход в мм	Значения s_0 для труб класса		
	ВТ3, ВТ6, ВТ9	ВТ12	ВТ3, ВТ6
100	187,7	—	—
125	76,08	—	—
150	31,55	39,54	—
200	6,898	8,632	—
250	2,227	2,605	—
300	0,914	1,083	—
350	0,4342	0,5115	—
400	0,2171	0,2579	—
500	0,07138	0,08489	—
600	—	—	0,02123
700	—	—	0,009536
800	—	—	0,00477
900	—	—	0,002588
1000	—	—	0,001493

Таблица 5

Поправочные коэффициенты δ_2 к расчетным значениям удельных сопротивлений s_0 для асбестоцементных труб при скоростях движения воды, отличных от $v=1$ м/с

Скорость v в м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
δ_2	1,308	1,217	1,158	1,115	1,082	1,056	1,034

Продолжение табл. 5

Скорость v в м/с	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
δ_2	1,016	1	0,974	0,953	0,936	0,922	0,91

Продолжение табл. 5

Скорость v в м/с	2,2	2,4	2,6	2,8	3	4
δ_2	0,9	0,891	0,883	0,876	0,87	0,846

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие к первому изданию . . . 3
Предисловие ко второму изданию . . . 5
Введение . . . 6

Раздел I

Потребности в воде и источники их удовлетворения

Глава 1. Водопотребление . . . 15
§ 1. Основные категории водопотребления . . . 15
§ 2. Удельные расходы и нормы водопотребления . . . 16
§ 3. Определение расчетных суточных объемов водопотребления . . . 19
Глава 2. Природные источники воды и их использование для целей водоснабжения . . . 21
§ 4. Оценка природных вод как возможных источников водоснабжения . . . 21
§ 5 Влияние хозяйственной деятельности людей на источники водоснабжения . . . 23
§ 6. Краткая характеристика природных водных ресурсов СССР и их использование для целей водоснабжения . . . 26

Раздел II

Общие сведения о системах водоснабжения и режиме их работы

Глава 3 Системы водоснабжения . . . 28
§ 7. Система водоснабжения и ее основные элементы . . . 28
§ 8 Классификация систем водоснабжения . . . 31
§ 9 Соображения о выборе объединенной или раздельной системы водоснабжения для различных категорий потребителей в пределах объекта . . . 32
Глава 4. Режим работы систем водоснабжения . . . 34
§ 10. Режим водопотребления в течение суток . . . 34
§ 11. Режим подачи воды и работы водопроводных сооружений . . . 37
§ 12. Особенности режима работы системы подачи и распределения воды при наличии контрезервуара или нескольких водопитателей и напорно регулирующих емкостей . . . 43
§ 13. Особенности режима работы системы водоснабжения при пожаре . . . 46
§ 14. Соображения о выборе расчетных случаев работы системы водоснабжения . . . 49
§ 15. Методы определения требуемого объема регулирующих и запасных емкостей . . . 50

Раздел III

Системы подачи и распределения воды (водопроводные сети и водоводы)

Глава 5. Общие вопросы проектирования и расчета водопроводных сетей и водоводов . . . 53
§ 16 Основные требования, предъявляемые к водопроводным сетям. Типы сетей . . . 53
§ 17. Отбор воды из сети . . . 55
§ 18. Определение диаметров водопроводных линий при заданном расчетном расходе . . . 59
§ 19 Определение потерь напора в трубах . . . 62
Глава 6. Теоретические основы и методы гидравлических расчетов водопроводных сетей . . . 65
§ 20. Геометрические свойства водопроводных сетей, используемые при их расчете . . . 65
§ 21. Общая постановка задачи о расчете водопроводных сетей . . . 66
§ 22. Начальное потокораспределение в кольцевых сетях и требования надежности . . . 69
§ 23. Теоретические основы поверочных гидравлических расчетов водопроводных сетей . . . 71
§ 24. Теория и методы внутренней увязки кольцевых сетей . . . 72
§ 25 Методы поверочных расчетов сетей с учетом их совместной работы с водопитателями и при наличии нефиксированных отборов . . . 86
§ 26 Использование вычислительных машин для расчета систем подачи и распределения воды 90
Глава 7. Основы теории и методы технико-экономических расчетов систем подачи и распределения воды . . . 94
§ 27. Постановка задачи о технико-экономическом расчете системы подачи и распределения воды 94
§ 28. Вид функции стоимости и ее анализ . . . 95
§ 29. Методы технико экономического расчета сетей при заданных значениях расхода воды в линиях сети . . . 97
§ 30. Сочетание технико-экономических расчетов с поверочными гидравлическими расчетами сетей (объем и пути использования технико-экономических принципов в реальном проектировании систем подачи и распределения воды) . . . 101
Глава 8. Зонирование систем водоснабжения . . . 102
§ 31. Понятие о зонных системах водоснабжения . . . 102
§ 32. Экономический эффект зонирования . . . 105
§ 33. Некоторые особенности проектирования и устройства зонных систем . . . 107
Глава 9. Устройство водопорводной сети . . . 110
§ 34. Основные требования, предъявляемые к конструкции водопроводных сетей . . . 110
§ 35 Металлические водопроводные трубы . . . 112
§ 36. Защита металлических труб от коррозии и мероприятия по сохранению пропускной способности водопроводных линий . . . 116
§ 37. Неметаллические водопроводные трубы . . . 117
§ 38. Выбор типа и класса труб в зависимости от их прочностных характеристик . . . 120
§ 39. Области применения труб, различных по материалу . . . 121
§ 40. Глубина заложения и укладка водопроводных труб . . . 122
Глава 10. Арматура и сооружения на сети . . . 124
§ 41. Запорная и регулирующая арматура . . . 125
§ 42. Водоразборные колонки и краны . . . 127
§ 43. Пожарные гидранты . . . 129
§ 44. Предохранительная арматура . . . 130
§ 45. Деталировка сети . . . 133
§ 46. Колодцы на сети . . . 134
§ 47. Упоры и компенсаторы . . . 135

§ 48. Пересечение водопроводных линий с дорогами, реками и оврагами 137
Глава 11. Сооружения для транспортирования воды от источника к объекту водоснабжения (особенности проектирования и устройства) 139
§ 49. Методы транспортирования воды и основные типы транспортирующих сооружений . . . 139
§ 50. Безнапорные водопроводные каналы 142
§ 51 Напорные гравитационные водоводы 145
§ 52. Расчет напорных водоводов по заданной степени обеспеченности подачи воды 147
Глава 12. Техническая эксплуатация водопроводных сетей и водоводов 150
§ 53. Основные задачи технической эксплуатации сетей и водоводов 150
§ 54 Ликвидация аварий на водопроводных линиях 151
Список литературы 152

Раздел IV

Водоприемные сооружения

Глава 13. Сооружения для приема воды из поверхностных источников 153
§ 55 Общие положения 153
§ 56. Классификация речных водоприемников 155
§ 57. Речные водоприемники берегового типа 156
§ 58 Примеры речных водоприемников берегового типа 165
§ 59. Речные водоприемники руслового типа 169
§ 60. Плавучие водоприемные сооружения (насосные установки) 178
§ 61. Водоприемные ковши 179
§ 62. Особенности приема воды из рек с недостаточной глубиной. 185
§ 63. Особенности приема воды из горных рек 186
§ 64. Особенности приема воды из водохранилищ и озер 190
§ 65. Особенности приема воды из морей и устройства морских водоприемников 194
Глава 14. Сооружения для приема подземных вод 199
§ 66. Основные типы сооружений для приема подземных вод 199
§ 67. Конструкции и устройство трубчатых колодцев 200
§ 68. Фильтры трубчатых колодцев 202
§ 69. Расчет одиночных трубчатых колодцев (скважин) 205
§ 70 Расчет взаимодействующих трубчатых колодцев 212
§ 71. Схемы водосборных сооружений при использовании трубчатых колодцев. Оборудование колодцев 215
§ 72. Шахтные колодцы 218
§ 73. Горизонтальные водосборы 220
§ 74. Водосборы инфильтрационного типа 222
§ 75 Сооружения для каптажа родниковых вод 229
Глава 15. Охрана природных источников воды 232
§ 76. Мероприятия по охране природных вод от загрязнения их сточными водами 233
§ 77. Общие мероприятия по защите природных водоемов от истощения и загрязнения . . . 234
§ 78. Организация и содержание зон санитарной охраны источников водоснабжения и водоприемных сооружений 234
Список литературы 236

Раздел V

Обработка воды

Глава 16. Оценка качества природной воды и основные виды ее обработки 237
§ 79. Основные характеристики качества воды природных источников и сопоставление их с нормативными требованиями к качеству используемой воды 237
§ 80 Основные задачи водопроводных очистных сооружений и основные процессы обработки воды 243
§ 81. Принципиальная схема комплекса водопроводных очистных сооружений 245
Глава 17. Коагулирование и сооружения для коагуляции 247
§ 82. Процесс коагулирования 247
§ 83. Комплекс сооружений для коагулирования 249
§ 84. Устройства для приготовления раствора коагулянта и его дозирования 250
§ 85. Смесители 254
§ 86. Камеры хлопьеобразования 257
Глава 18. Отстаивание воды 259
§ 87. Закономерности осаждения взвеси в воде 259
§ 88 Горизонтальные отстойники 264
§ 89. Вертикальные отстойники 268
§ 90. Радиальные отстойники 269
§ 91. Гидроциклоны 271
Глава 19. Осветление воды пропуском через слой взвешенного осадка 272
§ 92. Принцип работы осветлителей 272
§ 93. Типы и конструкции осветлителей 273
§ 94. Расчет осветлителей 278
Глава 20. Фильтрование воды 281
§ 95. Общие понятия о фильтровании воды 281
§ 96. Медленные фильтры 283
§ 97. Принципы работы скорых фильтров 283
§ 98. Теоретические основы процесса фильтрования воды на скорых фильтрах 285
§ 99. Фильтрующие материалы и загрузка скорых фильтров 291
§ 100. Методы расчета скорых фильтров 292
§ 101. Дренажные (распределительные) системы скорых фильтров 295
§ 102. Промывка скорых фильтров 299
§ 103. Отвод и подача промывной воды 303
§ 104. Определение полной производительности фильтровальной станции, суммарной площади и числа фильтров 305

§ 105. Регулирование скорости фильтрования . . . 306
§ 106. Оборудование скорых фильтров и управление их работой . . . 308
§ 107. Контактные осветлители . . . 310
§ 108 Фильтры Академии коммунального хозяйства . . . 312
§ 109. Микрофильтры . . . 313
§ 110. Особенности фильтрования воды, подаваемой для производственных целей . . . 314
Глава 21. Обеззараживание воды и уничтожение в ней запахов и привкусов . . . 319
§ 111. Задачи обеззараживания воды . . . 319
§ 112. Хлорирование воды . . . 320
§ 113. Перехлорирование и дехлорирование . . . 323
§ 114 Хлорирование с аммонизацией . . . 325
§ 115 Озонирование воды . . . 325
§ 116. Бактерицидное облучение воды . . . 327
§ 117. Уничтожение запахов и привкусов в воде природных источников . . . 328
Глава 22. Компоновка станций осветления и обеззараживания воды и общие вопросы их проектирования и строительства . . . 329
§ 118. Выбор площадки для очистных сооружений и их компоновка . . . 329
§ 119 Высотная схема очистных сооружений . . . 330
§ 120. Подсобные и вспомогательные сооружения и помещения очистной станции . . . 331
§ 121. Примеры компоновки очистных сооружений для осветления и обеззараживания воды . 332
Глава 23. Умягчение, обессоливание и опреснение воды . . . 337
§ 122. Основы реагентного умягчения воды . . . 338
§ 123. Установка для реагентного умягчения воды . . . 339
§ 124. Основы катионитного умягчения воды . . . 341
§ 125. Установки для катионитного умягчения воды . . . 345
§ 126. Расчет установок для катионитного умягчения воды . . . 346
§ 127. Основы обессоливания воды . . . 349
§ 128. Обессоливание воды дистилляцией . . . 350
§ 129. Обессоливание воды ионным обменом . . . 351
§ 130 Опреснение воды . . . 355
Глава 24. Особые виды обработки воды . . . 365
§ 131. Удаление из воды железа . . . 365
§ 132. Удаление из воды растворенных газов . . . 370
§ 133. Фторирование и обесфторивание воды . . . 372
§ 134. Стабилизация воды . . . 374
Список литературы . . . 375

Раздел VI

Регулирующие и запасные емкости

Глава 25. Виды регулирующих и запасных емкостей . . . 376
Глава 26. Водонапорные башни . . . 377
§ 135. Общие сведения об устройстве и оборудовании водонапорных башен . . . 377
§ 136. Железобетонные водонапорные башни . . . 380
§ 137. Стальные водонапорные башни . . . 384
§ 138. Кирпичные и деревянные водонапорные башни . . . 384
§ 139. Водонапорные колонны . . . 386
Глава 27. Резервуары . . . 388
§ 140. Типы резервуаров . . . 388
§ 141. Железобетонные резервуары . . . 389
§ 142. Оборудование резервуаров . . . 393
Глава 28. Пневматические водонапорные установки . . . 395
§ 143 Пневматические установки переменного давления . . . 395
§ 144. Пневматические установки постоянного давления . . . 397
§ 145. Конструктивное оформление пневматических установок и область их применения . . . 398

Раздел VII

Водоснабжение промышленных предприятий

Глава 29. Специфические особенности использования воды на нужды промышленности . . . 400
§ 146 Потребление воды на производственные нужды промышленности . . . 400
§ 147. Особенности систем производственного водоснабжения . . . 402
Глава 30. Охлаждающие устройства систем оборотного водоснабжения . . . 405
§ 148 Процессы охлаждения воды в охладителях . . . 406
§ 149. Водохранилища-охладители . . . 408
§ 150. Брызгальные устройства . . . 414
§ 151. Градирни . . . 418
§ 152. Потери воды в охладителях . . . 427
§ 153. Водный режим в системах оборотного водоснабжения . . . 428
§ 154. Выбор типа охладителей . . . 429
Глава 31. Водоснабжение тепловых электростанций . . . 431
§ 155. Конденсаторы паровых турбин . . . 431
§ 156. Водопотребление тепловой электростанции . . . 434
§ 157. Системы водоснабжения тепловых электростанций . . . 437
Глава 32. Водоснабжение предприятий черной металлургии . . . 441
§ 158. Рудники, рудообогатительные и агломерационные фабрики . . . 442
§ 159. Коксохимические заводы . . . 444
§ 160. Металлургические заводы . . . 447
§ 161. Доменные цехи . . . 448
§ 162. Цехи очистки доменного газа . . . 450
§ 163. Сталеплавильные цехи . . . 451
§ 164. Прокатные цехи . . . 454
§ 165 Испарительное охлаждение металлургических печей . . . 458
Список литературы . . . 460

Раздел VIII

Основы сельскохозяйственного водоснабжения

Глава 33 Системы сельскохозяйственного водоснабжения 461
§ 166 Системы водоснабжения поселков совхозов и колхозов 461
§ 167 Системы водоснабжения животноводческих промышленных комплексов и ферм 463
§ 168. Системы пастбищного водоснабжения 468
§ 169 Системы полевого водоснабжения 470
Глава 34. Нормы водопотребления и требования к качеству воды 471
§ 170 Нормы водопотребления 471
§ 171 Требования к качеству воды 473
Список литературы 473
Приложения 474

Николай Николаевич Абрамов

Водоснабжение

Изд 2-е, переработанное и дополненное

Редактор издательства М. А. Шершукова
Внешнее оформление художника Ю. И. Смурыгина
Технический редактор Н. Г. Бочкова
Корректоры Г. А. Кравченко, В С. Якунина

Сдано в набор 16/I 1974 г Подписано к печати 12/IV 1974 г. Т-08006 Формат 70×108$^{1}/_{16}$ д л.
Бумага типографская № 2. 42 усл. печ л (40,41 уч.-изд. л). Тираж 80 000 экз. (40 001—80 000).
Изд № АI—3001 Зак № 897. Цена в переплете № 7—1 р 74 к. Цена в переплете № 5—1 р. 55 к.

Стройиздат
103777, Москва, Кузнецкий мост, 9

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Москва, И-41, Б Переяславская ул., дом 46