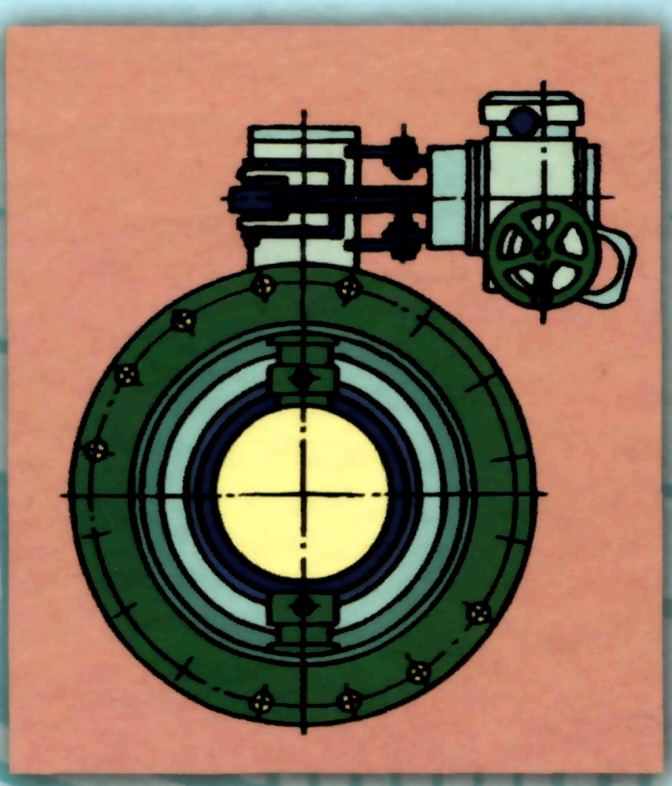
Библиотека СОК

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

М.А. Сомов
Л.А. Квитка



УЧЕБНИК

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

М.А. СОМОВ
Л.А. КВИТКА

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Учебник

Допущено Федеральным агентством по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству в качестве учебника для студентов средних специальных учебных заведений, обучающихся по специальности 270112 (2912) «Водоснабжение и водоотведение»



Москва
ИНФРА-М
2007

УДК 628.1(07)
ББК 38.761.1я723
С61

Рецензенты:

зам. директора «Союзводоканалпроект»
В.П. Жиров;

зав. кафедрой коммунального и промышленного водоснабжения Московского института коммунального хозяйства и строительства, канд. техн. наук, доцент
И.И. Павлинова

Сомов М.А., Квитка Л.А.

С61 Водоснабжение: Учебник. — М.: ИНФРА-М, 2007. — 287 с. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 978-5-16-002635-0

В учебнике приведены основные сведения о системах водоснабжения, условиях работы и конструкциях основных водопроводных сооружений, а также методы их расчета и проектирования. Рассмотрены характерные особенности систем муниципального и сельскохозяйственного водоснабжения.

Для студентов строительных техникумов, колледжей, обучающихся по специальности 2912 «Водоснабжение и водоотведение».

ББК 38.761.1я723

ISBN 978-5-16-002635-0 © Сомов М.А., Квитка Л.А., 2006

Предисловие

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений, обеспечивающих добывание, кондиционирование и подачу воды потребителям в необходимых количествах и соответствующего качества с соблюдением требований надежности.

Кондиционирование воды представляет собой комплекс физических, химических и биологических методов изменения ее первоначального состава. Под кондиционированием воды понимают не только ее очистку от ряда нежелательных и вредных примесей, но и улучшение природных свойств путем обогащения ее недостающими ингредиентами.

Актуальность издания данного учебника подтверждается развитием научно-технического обеспечения по реализации Программы «Реформирование и модернизация жилищно-коммунального комплекса РФ», утвержденной постановлением Правительства РФ.

В учебнике изложены современные методы добывания, кондиционирования и транспортирования воды, предназначенной для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения крупных и малых населенных пунктов, включая сельскохозяйственные. Определенное внимание уделено экологическим проблемам систем водоснабжения, рациональному использованию питьевой воды, мероприятиям по охране водных источников. Особенности систем промышленного водоснабжения в учебнике не рассматриваются, так как они отнесены к самостоятельному курсу.

Все многообразие вопросов при высоком уровне развития техники водоснабжения невозможно изложить в учебнике с желаемой степенью детализации. Указанный недостаток компенсируется имеющимися учебными пособиями и необходимой справочной литературой. С приемлемой полнотой рассмотрены принципиальные вопросы водоснабжения и приведены сведения, отвечающие по содержанию и объему программе дисциплины «Водоснабжение» для специальности 2912 «Водоснабжение и водоотведение».

Авторы считают своим долгом выразить признательность заместителю директора Союзводоканалпроекта Е.Н. Жирову и заведующей кафедрой «Коммунальное и промышленное водоснабжение» Московского института коммунального хозяйства и строительства И.И. Павлиновой за ценные советы и замечания, сделанные при подготовке рукописи к изданию.

Введение

Вся жизнедеятельность человека связана с использованием воды, потребность в которой все возрастает. Одной из основных задач водоснабжения является обеспечение населения водой, отвечающей определенным санитарно-гигиеническим требованиям.

В современных условиях многочисленным потребителям необходима вода различного качества. Рост водопотребления привел во всем мире к ее количественному и качественному дефициту. Поэтому к решению задач водоснабжения требуется комплексный подход, предусматривающий интересы различных групп потребителей воды, рациональное ее использование с учетом экологических аспектов и т. д.

Первые сведения о применении воды для целей водоснабжения получены из археологических данных, обнаруженных в Месопотамии, Египте, Индии, Китае. Они указывают на то, что уже в глубокой древности человечество создавало системы водоснабжения, хотя и без достаточных на то знаний. Первые водопроводные системы были построены в Урарту (на территории современной Армении) в VIII–VII вв. до н.э. Дальнейшее развитие системы водоснабжения получили в период греко-римской цивилизации (от 100 лет до н.э. до конца II в. н.э.), когда были заложены принципы создания централизованных систем водоснабжения. Начало строительства централизованных городских систем водоснабжения относится к XII–XIII вв. Некоторые из них сохранились на территории бывшего СССР (Средняя Азия, Крым, Новгород и др.). Однако надо иметь в виду, что они являются лишь прообразом современных централизованных водопроводов.

Обычным способом водоснабжения российских городов являлось получение воды из поверхностных источников, вблизи которых строились города, или из колодцев и прудов, вырытых в местах с обильными подземными водами. При изыскании источников наряду с хозяйственными целями учитывалась потребность получения воды при обороне города. Первый самотечный водопровод был построен для Московского Кремля в 1492 г. Головным сооружением его служила Арсенальная (ранее Собакина) башня, где находился родник.

В промышленных централизованных водопроводах XVIII в. впервые стали применяться специальные водозаборные и водо-

распределительные сооружения. Основоположниками водопроводного дела были знаменитый русский теплотехник И.И. Ползунов и один из первых гидротехников России К.Д. Фролов. Вопросами водоснабжения горного дела занимался М.В. Ломоносов.

В конце XVIII в. началось строительство Мытищинского родникового водопровода для снабжения водой г. Москвы. В дальнейшем этот водопровод несколько раз реконструировался и окончательно был построен в 1858 г. по проекту А.И. Дельвига. Во второй половине XIX в. водопроводы были построены в Санкт-Петербурге, Казани, Новочеркасске, Ярославле и других городах. К концу XIX в. в России уже был накоплен большой опыт не только строительства, но и эксплуатации промышленных водопроводов.

Специфика климатических условий России диктовала необходимость поиска отечественных инженерных решений, отличных от подобных решений стран Европы. Благодаря этому вслед за водопроводами в средней полосе России появились надежные системы водоснабжения на Крайнем Севере, в Сибири и на Дальнем Востоке.

К 1917 г. в России лишь четвертая часть городов имела водопроводы. Среднее водопотребление составляло 18–24 л/чел в сутки, и лишь в Москве и Санкт-Петербурге оно было значительно выше. Большинство населения пользовалось водой из уличных водоразборных колонок и фонтанов. Восстановление народного хозяйства после Гражданской войны и последующая индустриализация страны вызвали бурный рост городов и поселков, а с ними и развитие водопроводного хозяйства. Мощность централизованного водоснабжения за счет расширения и нового строительства водопроводов к 1940 г. возросла более чем в 10 раз по сравнению с 1917 г. В этот период был разработан и принят ряд важнейших нормативных документов, направленных на улучшение санитарного состояния источников, установлены требования к зонам их санитарной охраны. После Великой Отечественной войны в 1946–1960 гг. водопроводы были восстановлены и построены в 580 городах и многих поселках.

В городах России первые водопроводы обычно строились на базе подземных источников, что обусловливалось стремлением к использованию доброкачественной воды и надежной защищенности ее от внешнего загрязнения. В процессе дальнейше-

го развития городов и соответствующего роста водопотребления в большинстве случаев был осуществлен переход к поверхностным источникам, чему способствовало также внедрение более совершенных технологий очистки воды.

На рубеже 60–70-х гг. XX в. вновь появилась тенденция к широкому использованию подземных источников для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Это было вызвано как ухудшением качества воды в поверхностных источниках, так и расширением гидрогеологических исследований запасов подземных вод. Новым качественным результатом следует считать создание водопроводов с разнотипными источниками, более надежных как в техническом, так и в санитарно-эпидемиологическом отношении.

В связи с загрязнением и истощением многих источников водоснабжения в настоящее время увеличение мощности водопроводов за счет нового строительства требует больших капитальных затрат. Поэтому особое внимание должно быть уделено оптимизации водопользования и сокращению потерь воды.

Развитие промышленности и сельскохозяйственного производства, коммунального хозяйства городов и поселков, рост водопотребления, использование прибрежных водоохранных полос, распашка пойм, применение ядохимикатов и нарушение правил их хранения, отсутствие необходимого правового и экономического механизмов управления водными ресурсами по бассейновому принципу и др. приводят к резкому обострению экологической обстановки и ухудшению условий жизни населения.

Решение проблем очистки природных и сточных вод заключается в разработке и широком внедрении в практику новых надежных, эффективных и высокоэкономичных технологических процессов, конструкций сооружений, установок и аппаратов. Широкое внедрение вычислительной техники позволяет решать задачи проектирования и эксплуатации на качественно новом уровне, обеспечивающем требования экономичности и надежности систем водоснабжения.

Следует отметить, что для решения научных и инженерных задач водопроводной техники много сделали такие русские ученые и инженеры, как Н.П. Зимин, Н.Е. Жуковский, К.П. Карельских, В.В. Ольденборгер и др. Многие задачи теории и практики водоснабжения решили советские ученые

Н.Н. Абрамов, С.Х. Азерьер, М.М. Андрияшев, И.Э. Апельцин, Ф.М. Бочевер, Н.Н. Гениев, В.А. Клячко, В.Г. Лобачев, Н.Г. Малишевский, Л.Ф. Мошнин, Г.И. Николадзе и др. Большой вклад в развитие теории и практики водоснабжения вносят МГУП «Мосводоканал», НИИ ВОДГЕО, НИИ КВОВ, АКХ им. К.Д. Памфилова и многие другие отраслевые и учебные институты.

Раздел 1. Источники водоснабжения

1.1. Природные водные ресурсы и их использование для целей водоснабжения

Водоснабжение базируется на использовании природного сырья — воды.

Оценка и прогноз мощности и качества источников водоснабжения являются ответственной задачей. Правильное ее решение гарантирует получение необходимых количеств воды в течение рассматриваемого периода эксплуатации с учетом предполагаемого роста водопотребления при соблюдении требований технологической и санитарной надежности.

Требования, предъявляемые к питьевой воде, регламентированы СанПиН 2.1.4.559-96. Требования к качеству воды, идущей на технологические нужды, чрезвычайно разнообразны. При оценке качества воды в источнике водоснабжения используется государственный стандарт «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» (ГОСТ 2761-84).

От качества воды в источнике во многом зависят условия эксплуатации как очистных сооружений, так и систем подачи и транспортирования воды. Качество воды должно соответствовать требованиям потребителя и достигаться индустриальными методами технологии ее подготовки.

При выборе источника необходима оценка комплексного использования водных ресурсов всех видов, имеющихся в регионе. Из нескольких альтернативных предпочтение отдается тому источнику, который обеспечивает бесперебойное снабжение водой потребителей при минимальных затратах на ее очистку и транспортирование. При этом учитывается сохранение сложившейся экологической системы при отборе воды.

Выбранный источник водоснабжения необходимо согласовать с органами государственного санитарного надзора.

Трудности в обеспечении потребителей водой во многом возникают из-за неравномерности распределения как водных ресурсов по территории страны, так и самих потребителей и пользователей воды. Кроме того, существенны колебания во времени объемов водных ресурсов, пригодных для использования.

Забор воды для целей водоснабжения возможен из поверхностных и подземных источников.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения целесообразно применять подземные (особенно артезианские и родниковые) воды, которые, как правило, имеют более высокие показатели качества, чем воды поверхностные. Если мощность водоносного пласта подземных вод недостаточна или они непригодны для целей водоснабжения, то используют поверхностные источники. Использование подземных вод для производственных нужд нецелесообразно, если нет соответствующего обоснования.

Подземные воды обычно не требуют осветления и обесцвечивания, характеризуются постоянством температуры, санитарной надежностью, небольшим содержанием органических веществ и значительным количеством минеральных солей.

Наблюдается прямая зависимость между глубиной залегания подземных вод и степенью их минерализации. При наличии гидравлической связи между поверхностными и подземными водами последние могут отличаться повышенной окисляемостью.

Химический состав поземных вод отличается разнообразием. Он определяется в основном условиями их формирования, которые зависят от взаимодействия с атмосферой и земной поверхностью. Слабое протекание биологических процессов, отсутствие света и свободного растворенного кислорода препятствуют развитию растительности и жизнедеятельности водных организмов в подземных водах. Но одновременно с этим создаются благоприятные условия развития анаэробных процессов.

Подземные воды часто характеризуются значительной жесткостью, повышенным содержанием железа, марганца, фтора, растворенных газов (H_2S, CO_2).

Подземные воды могут быть напорными и безнапорными. Безнапорные воды имеют свободную поверхность, называемую зеркалом подземных вод. Если полностью насыщенные водоносные пласты перекрыты водонепроницаемыми грунтами и имеют пьезометрический напор, то они называются напорными. Давление, создаваемое напорными водами, больше атмосферного. Если подземные воды имеют выход на поверхность, то образуются родники.

Подземные воды могут залегать в виде грунтового потока с непрерывным движением воды, имеющего уклон в направле-

нии движения, а также в виде грунтового бассейна с неподвижной водой и горизонтальной свободной поверхностью.

Подземные воды имеют статический и динамический уровни. Статический уровень — это уровень воды в колодце при отсутствии водоотбора. При отборе воды из колодца происходит падение уровня. Этот уровень называется динамическим. Понижение динамического уровня пропорционально количеству откачиваемой воды. Количество воды, которое может быть откачано при понижении динамического уровня на 1 м, называется удельным дебитом. Уровень воды и пьезометрические линии, установившиеся вокруг колодцев при откачке воды, образуют кривые дисперсии.

В качестве поверхностных источников используются реки, водохранилища, озера и моря. Для рек характерны сезонные колебания расхода и качества воды. Состав примесей речных вод определяется характером питания рек. Различают поверхностное и подземное питание. Поверхностное питание обеспечивается выпадением дождей, таянием снега, ледников и т. п., а подземное — главным образом грунтовыми водами (родники, ключи).

Характерными особенностями качества речной воды являются ее относительно большая мутность (особенно в период паводков), высокое содержание органических веществ и бактерий, часто — значительная цветность воды. Речная вода обладает обычно относительно малым солесодержанием и, в частности, небольшой жесткостью.

Наблюдается определенная закономерность: воды рек Севера характеризуются малой или средней мутностью, высокой цветностью и малым солесодержанием, а реки Юга — высокой мутностью и минерализацией, низкой цветностью.

Состав природных вод постоянно изменяется в результате протекающих в них процессов оксидации и восстановления, седиментации диспергированных и коллоидных примесей и солей; ионообмена между водой и донными отложениями; обогащения вод микроэлементами вследствие биохимических процессов; смешения вод различного питания. В поверхностных водотоках наблюдается самоочищение воды за счет физических, химических и биологических процессов, чему способствуют аэрация, перемешивание, декантация взвесей, разбавление загрязнений в большой массе воды. Под действием простейших водных организмов, микробов — антагонистов, бактериофагов и антибиотиков биологического происхожде-

ния, под влиянием биохимических и оксидационных процессов погибают патогенные бактерии и вирусы. Самоочищение воды, как правило, не обеспечивает необходимого ее качества для производственных и хозяйственно-питьевых целей. Поэтому практически всегда поверхностная вода нуждается в кондиционировании ее свойств с их доведением до требований потребителей.

Хозяйственная деятельность человека существенно влияет на состояние водоисточников как в качественном, так и в количественном отношении. Одним из ее факторов является смыв с сельскохозяйственных угодий химических удобрений и сброс в водоемы недостаточно очищенных сточных вод и вод тепловых и атомных электростанций. Вследствие этого интенсивно развиваются планктон и макрофиты, вызывающие зарастание водоемов, повышение цветности воды, возникновение привкусов и запахов, что ухудшает санитарное состояние водоисточников.

Вода озер и водохранилищ отличается весьма малым содержанием взвешенных веществ, значительной цветностью, большой окисляемостью, наличием планктона в летнее время. Степень минерализации озерной воды весьма различна.

Морская вода, содержащая, как известно, большое количество минеральных солей, обладает относительно невысокой жесткостью. Ее применяют в производственном водоснабжении для охлаждения, а при отсутствии пресных вод — и для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения после опреснения.

1.2. Изыскания для проектирования систем водоснабжения

Задача водоснабжения — это бесперебойное снабжение водой потребителей при условии наибольшего удобства пользования ею, при наименьшей ее стоимости, наибольшей простоте и заданной надежности эксплуатации системы водоснабжения.

Система водоснабжения — это комплекс взаимосвязанных сооружений, обеспечивающих потребителей водой в требуемом количестве и заданного качества.

Проект водоснабжения населенного пункта или промышленного предприятия составляется после тщательного ознакомления с проектируемым объектом и местными условиями. Для

сбора необходимых сведений проводятся изыскания. Необходим ситуационный план местности в районе расположения проектируемого объекта с нанесенными на него промышленными объектами и источниками водоснабжения.

Для определения потребности в воде предоставляются основные данные о населенном пункте (плотность населения, этажность застройки, благоустройство зданий) и промышленных предприятиях (технологические расходы воды, коэффициенты суточной неравномерности, требуемые напоры, число смен на предприятиях, количество работающих в холодных и горячих цехах в каждую смену, количество пользующихся душем и др.). Указываются качество воды для производственных нужд, возможность оборота и повторного использования воды, расход воды для противопожарных целей промышленных предприятий. Также приводится площадь зеленых насаждений и поливаемых территорий.

Необходимы геологические данные для территории города и промплощадки (уровень грунтовых вод, степень агрессивности воды по отношению к бетону) и климатические данные (глубина промерзания грунтов, максимальная и минимальная температура воздуха, количество осадков, выпавших в течение года, направление господствующих ветров).

Сведения об источниках водоснабжения получают в результате гидрогеологических, гидрологических и топографических изысканий. Данные о поверхностных источниках — это минимальный и максимальный расход воды в реке; уровни воды; скорости движения воды; толщина льда. Прилагается поперечный профиль реки с геологическими разрезами в створе водоприемника. Данные о подземных источниках — это их расход воды, грунты, отметка статического уровня подземной воды, порода водоносного слоя, удельный дебит.

Для проектирования очистных сооружений представляют сведения по основным показателям качества воды в источниках водоснабжения.

Кроме перечисленного следует предусмотреть перспективу роста города, увеличение в нем количества жителей, развитие промышленности, а также рассмотреть вопросы, связанные с электроснабжением (указать стоимость электроэнергии).

В проекте должны быть рассмотрены варианты водоснабжения, технологических и инженерных решений. Необходимым этапом является технико-экономическая оценка мероприятий

и сравнение различных схем при использовании поверхностных и подземных вод и других возможных вариантов решения водоснабжения.

1.3. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и сооружений систем водоснабжения хозяйственно-питьевого назначения

В целях обеспечения санитарно-эпидемиологической надежности проектируемых и реконструируемых водопроводов хозяйственно-питьевого водоснабжения в местах расположения водозаборных сооружений и окружающих их территорий устраивают зоны санитарной охраны (ЗСО).

Создание санитарных зон необходимо для предотвращения загрязнения источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. Они охватывают эксплуатируемый водоем и часть бассейна его питания.

Основные требования к проектированию зон санитарной охраны определяются СНиП 2.04.02-84*.Зона санитарной охраны источника водоснабжения в месте забора воды состоит из трех поясов, в каждом из которых устанавливают особый режим, санитарный надзор и контроль за качеством воды в источнике. Первый пояс — зона строгого режима, второй и третий — режимов ограничения.

Проект указанных зон разрабатывается на основе данных санитарно-топографического обследования территорий, а также гидрогеологических, гидрологических, инженерно-геологических и топографических материалов. Определяются границы поясов зон, перечень мероприятий по их организации и санитарный режим в них. Он согласовывается с органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы, органами по регулированию использования и охраны вод, заинтересованными организациями и местными органами власти.

Границы первого пояса зоны санитарной охраны поверхностного источника ограничивают источник в месте забора воды и площадку, занимаемую водозаборами, насосными станциями, очистными сооружениями и резервуарами чистой воды. Граница первого пояса устанавливается в целях устранения возможности случайного или умышленного загрязнения воды в нем. Он охватывает акваторию рек и подводящих

каналов не менее чем на 200 м от водозабора вверх по течению и 100 м вниз по течению. По прилегающему берегу граница пояса проходит на расстоянии не менее чем 100 м от линии уреза воды при максимальном уровне. При ширине реки и канала до 100 м в первый пояс зоны входит часть противоположного берега (по отношению к водозабору) шириной 50 м от уреза воды, при большей ширине — акватория шириной не менее 100 м.

Зона санитарной охраны первого пояса для водохранилищ и озер охватывается границей, проходящей на расстоянии 100 м от водозабора по акватории источника во всех направлениях, а по прилегающему к водозабору берегу — на расстоянии не менее 100 м от уреза воды. Если водозабор ковшового типа, то в границы входят вся площадь ковша и территория вокруг него полосой не менее 100 м.

Для подземных источников граница проходит в радиусе 30 м от водозабора, если источник надежно защищен; при отсутствии гарантии надежной защиты граница пояса проходит в радиусе 50 м.Территория первого пояса должна быть спланирована, озеленена и огорожена, а на акватории поверхностных источников поставлены предупредительные знаки. В этих границах запрещены все виды строительства, не связанные с основным производством, проживание людей, купание, водопой и выпас скота, ловля рыбы, стирка белья, применение удобрений и ядохимикатов, рубка леса.

Второй пояс санитарной зоны охватывает территорию по обеим сторонам реки на расстоянии 500—1000 м от уреза воды. Боковые границы зависят от рельефа местности. Граница второго пояса вниз по течению реки принимается на расстоянии не менее 250 м от места водозабора. Вверх по течению реки ее назначают исходя из пробега воды от нее до водозабора в течение 3—5 сут в зависимости от климатических условий при среднемесячном расходе воды 95 %-ной обеспеченности. На судоходных реках и каналах в границы второго пояса включают акваторию, прилегающую к водозабору в пределах фарватера.

Для водоемов граница второго пояса назначается в радиусе 3—5 км по всей их акватории, что зависит от наличия ветров. Боковая граница назначается так же, как и на реках.

Границы второго пояса зоны санитарной охраны подземного источника устанавливаются для защиты водоносного горизонта от микробных загрязнений. Основным параметром, опре-

деляющим расстояние от водозабора до границы, является время передвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору. Оно должно быть достаточным для гибели микроорганизмов. Границу определяют гидродинамическими расчетами исходя из условия, что если микробы попадают в водоносный горизонт за ее пределами, то они не достигнут водозабора. Расчетное время для обоснования границ второго пояса принимается в пределах 100–400 сут, что зависит от вида подземных вод (напорные, безнапорные), наличия гидравлических связей этих вод с открытым водоемом и климатических условий.

На территории второго пояса зоны санитарной охраны разрешается отводить земли для строительства и благоустройства населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов, оздоровительных учреждений. При этом они должны быть оборудованы системой водоснабжения и канализации, отвода загрязненных поверхностных вод и т. д. Одновременно с этим во втором поясе запрещается загрязнение территорий, размещение складов горючесмазочных материалов, ядохимикатов, удобрений, накопителей и других объектов, которые могут привести к химическому загрязнению водоемов. Также не допускается устройство полей фильтрации, орошение сельхозугодий и т. п., что может вызвать микробное загрязнение источников водоснабжения. На территории второго пояса подземных источников, кроме того, необходимо проводить тампонаж бездействующих, дефектных и неправильно эксплуатируемых скважин и колодцев. Запрещаются закачка отработанных вод в подземные пласты, подземное складирование твердых отходов и разработка недр земли.

Границы третьего пояса зоны поверхностного источника водоснабжения должны быть вверх и вниз по течению реки или во все стороны по акватории водоема такими же, как для второго пояса, а боковые границы проходят по водоразделу, но не более 3–5 км от водотока или водоема.

Третий пояс зоны санитарной охраны служит для защиты подземных вод от химических загрязнений. Его границы также определяются гидродинамическими расчетами исходя из условия, что если за ее пределами в водоносный горизонт попадут химические загрязнения, то они либо не достигнут водозабора, либо достигнут не ранее расчетного времени. Это время должно быть больше проектного срока эксплуатации водозабора (25–30 лет).

На территории третьего пояса зоны поверхностного источника водоснабжения предусматривают санитарные мероприятия, проводимые во втором поясе. Однако в отличие от второго на территории третьего пояса допускаются лесозаготовительные работы. На каналах и водохранилищах в границах третьего пояса должны проводиться работы по очистке дна от отложений и растительности. В этом случае при использовании химических методов борьбы допускается применение тех препаратов, которые разрешены органами санитарно-эпидемиологической службы.

Санитарные мероприятия в рассматриваемом поясе подземных источников в основном совпадают с мероприятиями для поверхностных источников.

Раздел 2. Общие сведения о водоснабжении

2.1. Централизованные системы и схемы водоснабжения

Под системой водоснабжения подразумевается комплекс сооружений, необходимых для снабжения водой потребителей в необходимом количестве, требуемого качества и под требуемым напором при обеспечении надежности их работы.

Состав сооружений выбирают в зависимости от требований, предъявляемых потребителем, и качества воды в природных источниках водоснабжения. Под схемой водоснабжения понимают последовательное расположение сооружений от источника до потребителя, взаимное расположение их относительно друг друга.

Централизованная система — это система водоснабжения, при которой вода из одного или нескольких источников поступает в общую водораспределительную сеть или сначала в один или несколько резервуаров, а из них — в общую сеть, питающую водой весь объект данной системы. Водоснабжение всех потребителей в этом случае осуществляют из единой водопроводной системы. При этом водозаборные, водоподъемные и очистные сооружения рассчитываются на подачу воды всем потребителям, находящимся в зоне действия системы, и работают по согласованному графику.

Системы водоснабжения можно разделить на хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные. Помимо этого вода используется для мойки улиц, проездов, площадей, а также поливки зеленых насаждений и других целей. Степень объединения функций, выполняемых водопроводами, определяется исходя из технико-экономических соображений. Системы водоснабжения могут быть объединенными (едиными), раздельными и неполно раздельными.

В зависимости от вида объекта, снабжаемого водой, системы бывают городскими, поселковыми, промышленными и т. п. При этом они могут обеспечивать водой как один объект, так и группу однородных и разнородных потребителей на территории района.

На промышленных предприятиях в зависимости от схемы использования воды системы классифицируются на прямоточ-

ные, с последовательным использованием воды, оборотные и замкнутые.

В зависимости от источника питания водой объекта они подразделяются на системы, забирающие воду из поверхностных источников и из подземных. По способу подачи воды потребителям системы бывают напорными и безнапорными. Возможна комбинация этих систем подачи воды. Система водоснабжения состоит из сооружений для забора воды из источника, ее транспортирования, обработки, хранения и регулирования подачи.

Схемы расположения водопроводных сооружений различны и зависят от принятого источника водоснабжения: его характера, мощности, качества воды в нем, рельефа местности и режима водопотребления.

При заборе воды из поверхностного источника (река, водохранилище, канал, море и др.) схема водоснабжения предусматривает: забор воды; подъем и перекачку ее насосными станциями; кондиционирование; транспортирование к объектам водоснабжения и распределение между потребителями; регулирование расхода воды для сглаживания неравномерности водопотребления с помощью аккумулирующих резервуаров (рис. 2.1, *а*).

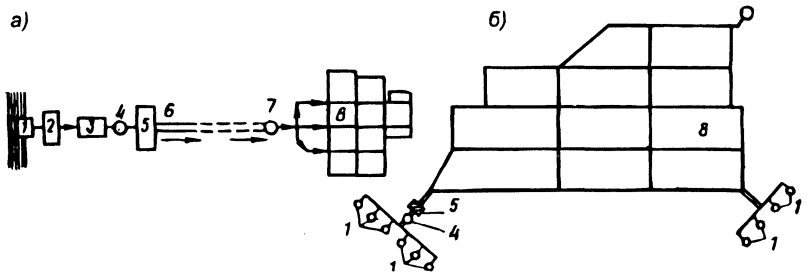


Рис. 2.1. Общая схема систем водоснабжения из поверхностного (*а*) и подземного (*б*) источников:

1 — сооружения водозаборные; *2*, *5* — сооружения для подъема и перекачки воды; *3* — сооружения для очистки воды; *4* — сборные резервуары; *6* — водоводы; *7* — водонапорная башня; *8* — водопроводная сеть

Забор воды осуществляется береговыми или русловыми водозаборами различных конструкций. На очистные сооружения вода перекачивается насосной станцией I подъема. После прохождения процесса кондиционирования она подается потребителю насосной станцией II подъема. Возможно устройство нескольких последовательно или параллельно работающих стан-

ций, что определяется техническими и экономическими условиями.

Сооружения для кондиционирования воды необходимы для доведения ее качества до требований, предъявляемых к ней абонентами. Резервуары чистой воды (сборные резервуары) служат для сглаживания неравномерности режима работы насосных станций I и II подъемов и хранения аварийных и противопожарных объемов воды.

Водопроводы следует рассматривать как сооружения для транспортирования воды к местам ее распределения. Они представляют собой систему труб, по которым вода поступает к городу, поселку или промышленному объекту.

Для распределения воды по территории объекта и раздачи ее потребителям устраивается водопроводная сеть. Она представляет собой систему трубопроводов, уложенных по улицам, проездам и т. д., оборудованных необходимой арматурой для регулирования, ремонта, отбора воды на цели пожаротушения, поливки и т. д. Сооружение для хранения и аккумулирования воды (водонапорная башня) выполняет ту же роль, что и резервуар чистой воды. Оно сглаживает несовпадения режима работы насосной станции II подъема и режима водопотребления.

Место расположения водонапорной башни в значительной мере определяется рельефом местности. Как правило, ее устанавливают на возвышенных отметках с целью уменьшения строительной стоимости. Однако в общем случае место ее установки должно определяться гидравлическими и технико-экономическими расчетами систем подачи и распределения воды. Если башня на местности располагается между насосной станцией II подъема и городом (рис. 2.1, *а*), то такая система водоснабжения называется с башней в начале сети; если по схеме, показанной на рис. 2.1, *б*, — то системой водоснабжения с башней в конце сети. Вместо водонапорной башни может быть установлен наземный или подземный напорный резервуар, если вблизи города имеются достаточно высокие отметки земли. Емкости могут быть установлены и в промежуточное положение при наличии возвышенных отметок в черте населенного пункта.

Забор воды из подземного источника осуществляется водозаборными скважинами, шахтными колодцами, горизонтальными и лучевыми водозаборами, сооружениями для каптажа подземных вод. Схема системы водоснабжения из подземного источника показана на рис. 2.1, *б*. При отклонении качества

подземной воды от требований СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода» в системе водоснабжения предусматривают сооружения для улучшения ее качества (сооружения по обезжелезиванию, умягчению, обесфториванию, опреснению и др.). Схема водоснабжения будет упрощена в случае соответствия качества воды в источнике требуемому. Тогда очистные сооружения, а часто и связанные с ними резервуары и насосная станция II подъема могут отсутствовать. Такая схема возможна, например, при использовании артезианских вод, не требующих кондиционирования.

Если источник водоснабжения расположен выше отметок снабжаемой водой территории, то появляются предпосылки для подачи воды потребителю самотеком. К таким источникам относятся горные водохранилища и ключи, а также напорные артезианские воды. При этом отпадает необходимость устройства насосных станций, перекачивающих воду от источника питания до потребителя. При значительной удаленности потребителя от источника может возникнуть необходимость устройства последовательно работающих насосных станций, перекачивающих воду по водоводам. Если город имеет развитую территорию и сложный пересеченный рельеф местности, то для создания у абонентов требуемого давления устраивают несколько насосных станций.

При совпадении режима работы насосных станций и режима водопотребления необходимость устройства резервуаров и башен для регулирования режимов отпадает.

Таким образом, обязательными элементами системы водоснабжения являются водозаборные сооружения, водоводы и водопроводная сеть.

Для потребителей, расположенных на значительном расстоянии друг от друга в условиях дефицита источников водоснабжения, применяют групповые (районные) системы водоснабжения. Они строятся для групп отдельных промышленных предприятий, групп курортных поселков и предприятий ряда районов сельскохозяйственного производства. С целью снижения высоких давлений в водоводах вследствие большой их протяженности в отдельных узлах сети устанавливают резервуары, в которые сбрасывают воду. Вода из этих резервуаров забирается насосными станциями и подается в последующий участок водовода, а также к близлежащим потребителям (рис. 2.2).

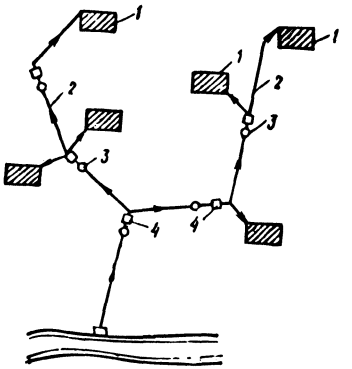


Рис. 2.2. Схема групповой (районной) системы водоснабжения:
1 — предприятие, поселок и т. п.; *2* — водовод; *3* — резервуар; *4* — насосная станция

Изложенные соображения относятся к системам водоснабжения как населенных пунктов, так и промышленных предприятий. Существуют, однако, системы, специально устраиваемые для целей промышленного водоснабжения (прямоточная, с повторным использованием воды, оборотная и др.).

Прямоточная система (рис. 2.3, *а*) предусматривает сброс воды в водоем с предварительной ее очисткой после использования в технологическом цикле. Эта система водоснабжения экономически целесообразна при малых расстояниях от источника водоснабжения до завода и при незначительной разности отметок уровня воды в источнике водоснабжения и площадки завода.

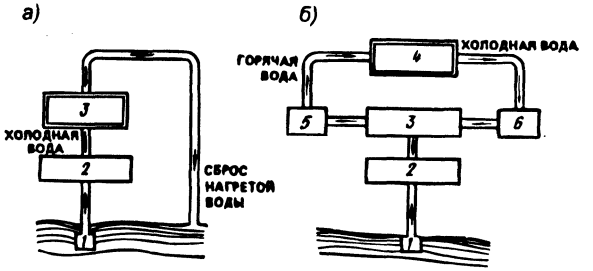


Рис. 2.3. Схема производственного водоснабжения:
а — прямоточная; *б* — оборотная; *1* — водозаборное сооружение; *2* — станция очистки и перекачки воды; *3* — промышленное предприятие; *4* — охладитель; *5* — насосная станция горячей воды; *6* — насосная станция охлажденной воды

Для сокращения забора свежей воды из источников водоснабжения и охраны их от загрязнения широко применяются системы оборотного водоснабжения (рис. 2.3, *б*). Они необходимы в случае маломощности источника водоснабжения. В этой системе вода, участвующая в технологическом процессе, не сбрасывается в водоем, а после обработки вновь возвращается в производственный цикл. Потери, имеющие место в производстве (3–5 %), восполняются из источника. Как правило, отличием большинства оборотных систем являются устройства для охлаждения воды (градирни, пруды-охладители и др.). При необходимости могут быть предусмотрены также очистные сооружения.

Если качество воды, сбрасываемой одним потребителем, допускает ее использование другими потребителями, то применяют систему повторного использования воды, которая снижает расход, забираемый из источника. Эта схема занимает промежуточное положение между рассмотренными схемами и становится целесообразной при небольших расстояниях между цехами, сбрасывающими и использующими отработавшую воду.

Та или иная схема водоснабжения выбирается на основе технико-экономических сравнений вариантов и соблюдения условий охраны водоемов от загрязнений.

В дальнейшем промышленность будет переходить на бессточную схему водоснабжения, которая позволит: использовать в производственном водоснабжении все стоки, сбрасываемые с территорий заводов, сократив до минимума забор воды из источника водоснабжения; исключить загрязнение водоемов вредными примесями; извлекать полезные вещества из сточных вод предприятий.

2.2. Нормы водопотребления

Определение количества воды, необходимой потребителю, — первоочередная задача при проектировании систем водоснабжения.

Для этого необходимо знать перечень и количество всех потребителей, получающих воду от рассчитываемой системы водоснабжения, и нормы водопотребления для них. В городах и поселках, как правило, устраивается объединенная хозяйственно-противопожарная система водоснабжения. Этой же системой подается вода на хозяйственно-питьевые нужды про-

мышленных предприятий, расположенных в черте города, а также на производственные нужды предприятий, потребляющих воду питьевого качества в силу технологической необходимости или экономической целесообразности.

При отсутствии самостоятельной системы поливного водопровода (вследствие невозможности ее устройства или экономической неэффективности) вода для мойки улиц и полива зеленых насаждений подается также объединенной системой.

При проектировании системы водоснабжения промышленной зоны или отдельного объекта, не имеющих связи с городским водопроводом, необходимо учесть все виды потребления воды, существующие на их территории. Эти системы рассчитываются самостоятельно. Целесообразность устройства таких систем определяется из условия технологической, экономической и экологической целесообразности, а также требований рационального использования водных ресурсов.

Расчетный расход воды каждого из потребителей определяется на основе норм, получаемых путем обработки статистических данных о фактическом потреблении или технологическим расчетом.

Общий расход воды на нужды населения пропорционален числу жителей в населенном пункте, для которого строится система водоснабжения, а также расходу воды на хозяйственно-питьевые нужды, приходящемуся на одного жителя, т. е. норме водопотребления.

Норма водопотребления, или удельное водопотребление, учитывает количество воды, потребляемое одним человеком в сутки на хозяйственно-питьевые нужды не только дома, но и в общественных зданиях, за исключением расхода воды в домах отдыха, санаториях, детских лагерях и т. п. Также она зависит от степени благоустройства зданий и местных климатических условий.

В настоящее время действующим СНиП 2.04.02-84* предусмотрены следующие расчетные среднесуточные расходы на хозяйственно-питьевые нужды на одного жителя (табл. 2.1).

Для районов, где водопользование предусмотрено из водозаборных колонок, среднесуточная (за год) норма водопотребления на одного жителя принимается 30–50 л/сут.

Выбор нормы водопотребления в указанных диапазонах производится с учетом природно-климатических условий, мощности источника водоснабжения, уклада жизни населения и других местных условий.

Таблица 2.1

Нормы хозяйственно-питьевого потребления воды

Степень благоустройства районов жилой застройки	*Нормы водоснабжения населенных пунктов на одного жителя среднесуточные (за год), л/сут*
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией, без ванн	125–160
То же, с ваннами и местными водонагревателями	160–230
То же, с централизованным горячим водоснабжением	230–350

Выбирая норму водопотребления, необходимо предусматривать мероприятия по сокращению утечек в системе и нерационального использования воды в заданиях. К ним следует отнести организацию зонирования системы, улучшение ее эксплуатации, регулирование давления и т. п.

Расходы воды на предприятиях включают производственные, хозяйственно-бытовые и душевые.

Расходы воды на производственные (технологические) нужды зависят от вида производства, принятого технологического процесса, вида системы водоснабжения, качества воды и т. д.

Они определяются по удельным нормам водопотребления на единицу продукции, которые задаются на основе технологических расчетов работниками той или иной области промышленности, а также из условий применения наиболее прогрессивных технологий, предусматривающих маловодные процессы, устройство оборотных и замкнутых систем водоснабжения. В соответствии с существующими нормами расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих во время их пребывания на производстве учитывается дополнительно к тем хозяйственно-питьевым расходам, которые рассматривались выше. В цехах со значительным тепловыделением он принимается равным 45 л, а в остальных цехах — 25 л на каждого работающего в смену. Помимо этого на производствах, связанных с необходимостью принятия душа, должен быть предусмотрен расход воды из расчета 500 л/ч на одну душевую сетку в течение 45 мин.

Расход воды на поливку и мойку улиц и площадей, а также **на поливку зеленых насаждений** зависит от размеров поливаемых площадей, способа поливки, типа покрытий и т. п.

В СНиП 2.04.02-84* предусмотрены следующие удельные нормы расхода воды, л/м^2 на одну мойку или на одну поливку (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Нормы расходования воды на мойку и полив территории

Назначение воды	*Измеритель*	*Норма расхода, л/м^2*
Механизированная мойка усовершенствованных покрытий проездов и площадей	1 мойка	1,2–1,5
Механизированная поливка усовершенствованных покрытий проездов и площадей	1 поливка	0,3–0,4
Поливка вручную (из шланга) усовершенствованных покрытий тротуаров и проездов	То же	0,4–0,5
Поливка городских зеленых насаждений	»	3–4
Поливка газонов и цветников	»	4–6

При отсутствии данных о площадях по видам благоустройства удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды принимается равным 50–90 л/сут в расчете на одного жителя. При назначении нормы поливки учитываются климатические условия, мощность источника водоснабжения, степень благоустройства населенных пунктов и другие местные условия. Число поливок в зависимости от климата принимается 1–2 в сутки.

Расходы воды для тушения пожара определяются по нормативным документам (СНиП 2.04.02-84*). Они составлены на основании обработки статистических данных о фактических расходах воды при тушении пожаров на различных объектах. Нормы расходования воды на пожаротушение зависят от численности населения и характера застройки (табл. 2.3).

Продолжительность тушения пожара принимается равной 3 ч. Расход воды для наружного пожаротушения в производственных зданиях с фонарями и в зданиях шириной до 60 м без фонарей зависит от объема здания, степени огнестойкости его строительных конструкций, а также категории пожарной опасности производства, размещенного в здании (табл. 2.4). Норма расхода воды для наружного пожаротушения в производственных зданиях без фонарей шириной 60 м и более несколько иная (табл. 2.5).

Таблица 2.3

Нормы расходования воды на пожаротушение в населенных пунктах

Число жителей в населенном пункте, тыс. чел.	*Расчетное число одновременных пожаров*	*Расход воды, л/с, на один пожар независимо от огнестойкости зданий, при высоте застройки*	
		до двух этажей включительно	*три этажа и больше*
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
600	3	—	85
700	3	—	90
800	3	—	95
1000	3	—	100
2000	4	—	100

Расчетное число одновременных пожаров для объединенного противопожарного водопровода населенного пункта и промышленного предприятия или сельскохозяйственного производственного комплекса, расположенных вне населенного пункта, принимается в зависимости от площади, занимаемой предприятием, и числа жителей в населенном пункте (табл. 2.6).

При нескольких промышленных предприятиях и одном населенном пункте расчетное число одновременных пожаров принимается по согласованию с органами Государственного пожарного надзора.

Расчетный расход на пожаротушение должен быть обеспечен при наибольшем расходе на другие нужды.

Максимальный срок восстановления неприкосновенного противопожарного расхода, хранящегося в резервуарах, составляет 1–3 сут в зависимости от категории объекта по пожарной опасности.

Таблица 2.4

Нормы расходования воды на пожаротушение предприятий при ширине производственных зданий до 60 м

Степень огнестойкости зданий	*Категория производства по пожарной опасности*	*Расход воды, л/с, на наружное пожаротушение (на один пожар при объеме зданий, 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
	Г, Д	10	10	15	25	—	—	—
III	В	10	15	20	30	—	—	—
	Г, Д	10	15	20	30	—	—	—
IV и V	В	15	20	25	40	—	—	—

Таблица 2.5

Нормы расходования воды на пожаротушение предприятий при ширине производственных зданий от 60 м и более

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

Таблица 2.6

Расчетное число одновременных пожаров

Площадь предприятия, га	*Число жителей в населенном пункте, тыс. чел.*	*Число одновременных пожаров*
Менее 150	До 10	1*
	От 10 до 25	2**
Более 150	Менее 25	2*

* На предприятии или в населенном пункте — по наибольшему расходу.
** Один на предприятии и один в населенном пункте.

2.3. Определение расчетных расходов воды

Режим потребления воды на хозяйственно-питьевые нужды населением является в значительной мере случайным и мало поддающимся управлению процессом. Поэтому для получения достаточно точного и экономичного проектного решения системы водоснабжения необходимо знать расчетные графики потребления воды населением. Потребление воды на хозяйственно-питьевые нужды неравномерно как в течение года, так и в течение суток. Наблюдаются изменения расхода: сезонные, вызванные изменением температуры и влажности воздуха; недельные, обусловленные особенностями жизнедеятельности людей в различные дни недели, а также суточные. Последние характеризуются неравномерностью потребления воды в отдельные часы суток, что в значительной мере зависит от степени благоустройства и изменения давления в водонапорной сети. Изменение часовых расходов может вызываться и такими случайными факторами, как показ популярных телепрограмм, спортивных мероприятий и т. п. Значительное влияние на режим водопотребления оказывает социальный и демографический состав населения.

Для получения указанных графиков необходим ряд наблюдений за потреблением воды в населенных пунктах, близких по численности населения, климатическим условиям, санитарно-техническому благоустройству районов жилой застройки, демографическому составу.

Прогноз режима водопотребления требуется для определения таких величин, как водопотребление, регулирующие объемы воды в емкостях, затраты энергии на транспортирование воды и др. Он должен служить основой для решения задач управления: оптимального распределения нагрузок между источниками питания, выбора работающих агрегатов и т. п.

Разработать графики, адекватно отражающие водопотребление рассматриваемого объекта, весьма сложно и трудоемко. На практике это приводит к необходимости пользоваться приближенными графиками, степень упрощения которых зависит от характерных особенностей и требований проектирования и эксплуатации.

На основании данных о нормах водопотребления, сведений о расчетном числе жителей и потребности в воде промышленных предприятий, забирающих воду из городского водопрово-

да, может быть определено полное среднее расчетное количество воды, которое должно быть подано городу в течение суток.

На хозяйственно-питьевые и бытовые нужды населения средние суточные расходы воды Q, м^3/сут, равны:

$$Q = q_{ср}N,$$

где $q_{ср}$ — средний за год расчетный расход воды на одного жителя в сутки, принимаемый в соответствии с действующими СНиП; N — расчетное число жителей.

Расчетные объемы водопотребления промышленных объектов определяются на основании технологических расчетов.

Определенные среднесуточные расходы водопотребления могут служить только в качестве общего показателя потребности в воде. В действительности суточные расходы воды в значительной мере зависят от сезона года, климатических изменений, дней недели. Таким образом, потребление воды жителями в течение года неравномерно и задача системы водоснабжения в том, чтобы удовлетворять потребности населения в воде постоянно, в том числе в сутки наибольшего (максимального) водопотребления.

Суточная неравномерность потребления воды характеризуется коэффициентами суточной неравномерности $K^{сут}_{макс}$ и $K^{сут}_{мин}$. Максимальный коэффициент суточной неравномерности $K^{сут}_{макс}$ представляет собой отношение суточного расхода в дни наибольшего водопотребления $Q^{сут}_{макс}$ к среднему суточному расходу за год Q:

$$K^{сут}_{макс} = Q^{сут}_{макс} / Q.$$

Минимальный коэффициент суточной неравномерности $K^{сут}_{мин}$ — это отношение суточного расхода в дни наименьшего водопотребления $Q^{сут}_{мин}$ к среднему суточному расходу за год:

$$K^{сут}_{мин} = Q^{сут}_{мин} / Q.$$

Эти коэффициенты, учитывающие уклад жизни населения, режим работы предприятий, степень благоустройства зданий, принимаются равными: $K^{сут}_{макс} = 1{,}1 - 1{,}3$; $K^{сут}_{мин} = 0{,}7 - 0{,}9$. Они получены в результате анализа неравномерности водопотребления в действующих водопроводах.

Максимальный суточный расход $Q^{сут}_{макс} = K^{сут}_{макс} \cdot Q$ является основным расходом, на который должна быть рассчитана систе-

ма водоснабжения. Однако следует помнить, что потребление воды в течение суток также неравномерно. Степень неравномерности расходования воды зависит от числа жителей в населенном пункте, а также от благоустройства зданий, условий работы предприятий и других местных условий.

Режим водопотребления в течение суток определяется по результатам наблюдений за действующими системами водоснабжения. Они могут быть представлены в табличной, интегральной, аналитической или графической форме. На рис. 2.4 приведен пример ступенчатого графика водопотребления. По оси ординат этого графика отложены значения часового расхода воды в процентах суточного расхода.

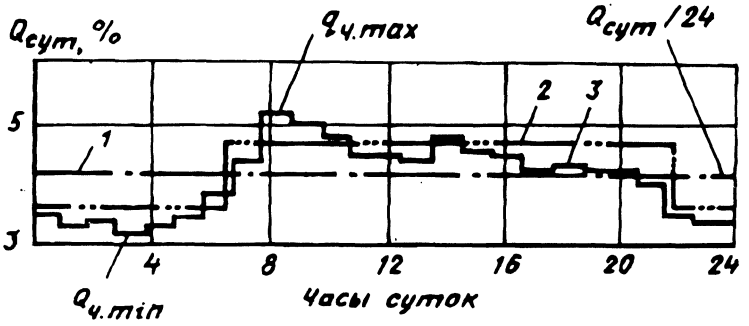


Рис. 2.4. График взаимосвязи режимов работы системы водоснабжения и водопотребителей:

1, 2 — для насосных станций *I, II* подъема; *3* — режим водопотребления

Часовая неравномерность потребления воды характеризуется максимальными коэффициентами часовой неравномерности $K^{час}_{макс}$ и $K^{час}_{мин}$, равными:

$$K^{час}_{макс} = Q^{час}_{макс} / Q^{час}_{ср}; \; K^{час}_{мин} = Q^{час}_{мин} / Q^{час}_{ср}.$$

Максимальный часовой расход для суток наибольшего водопотребления

$$Q^{час}_{макс} = K^{час}_{макс} \cdot Q^{сут}_{макс} / 24.$$

Минимальный часовой расход для суток наименьшего водопотребления

$$Q^{час}_{мин} = K^{час}_{мин} \cdot Q^{сут}_{мин} / 24.$$

По данным работы эксплуатируемых городских водопроводов в СНиП даны рекомендации для приближенного определения $K^{час}_{макс}$ и $K^{час}_{мин}$ по формулам:

$$K^{час}_{макс} = \alpha_{макс}\beta_{макс};$$

$$K^{час}_{мин} = \alpha_{мин}\beta_{мин}.$$

Коэффициент α учитывает степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и другие местные условия. Он принимается равным:

$$\alpha_{макс} = 1{,}2—1{,}4;$$
$$\alpha_{мин} = 0{,}4—0{,}6.$$

Коэффициент β учитывает влияние численности населения объекта (табл. 2.7). С ростом населения неравномерность водопотребления уменьшается. Ниже приводятся значения коэффициентов $\beta_{макс}$ и $\beta_{мин}$ в зависимости от числа жителей N:

Таблица 2.7

Значения коэффициентов $\beta_{макс}$ и $\beta_{мин}$

N, тыс. чел.	$\beta_{макс}$	$\beta_{мин}$	N, тыс. чел.	$\beta_{макс}$	$\beta_{мин}$
До 0,1	4,5	0,01	2,5	1,6	0,1
0,15	4	0,01	4	1,5	0,2
0,2	3,5	0,02	6	1,4	0,25
0,3	3	0,03	10	1,3	0,4
0,5	2,5	0,05	20	1,2	0,5
0,75	2,2	0,07	50	1,15	0,6
1	2	0,1	100	1,1	0,7
1,5	1,8	0,1	300	1,05	0,85
			1000 и более	1	1

Графики режима расходования воды, полученные по данным хозяйственно-питьевого водопотребления, не отражают в полной мере режим потребления воды населенным пунктом. Это вызвано тем, что из городской системы водоснабжения помимо хозяйственно-питьевых расходов отбирается вода на нужды промышленных предприятий, поливку и др. Обобщенный график расхода воды по часам суток необходимо строить с уче-

том всех этих расходов и вероятной степени их колебания в течение суток. Потребление воды изменяется также в пределах каждого часа. Однако для упрощения расчетов этим фактором пренебрегают. Кроме того, развитие системы подачи и распределения воды по очередям дает возможность иметь некоторый резерв мощности системы, позволяющий обеспечивать увеличенную подачу воды в случае необходимости. Учитывая сказанное, расчетный секундный расход (л/с) в час максимального водопотребления $q_{\text{макс}} = Q_{\text{макс}}^{\text{час}} / 3{,}6$.

Суточное потребление воды в различные периоды года на промышленных объектах в значительной мере определяется требованиями технологического процесса. На некоторых производствах оно меняется незначительно (например, на производствах, использующих воду для отмывки продукта), на других оно весьма существенно (например, в системах кондиционирования воздуха, конденсации пара и т. п.).

Изменение расходования воды в течение суток зависит от числа смен, количества работающих в каждую смену, режима отбора воды в течение каждой смены, наличия горячих и холодных цехов и других факторов. Однако неравномерность потребления воды промышленными предприятиями в отличие от неравномерности хозяйственно-питьевого водопотребления населением может быть поставлена под определенный контроль с помощью технических решений. В ряде случаев вода из городской системы водоснабжения на нужды производства может поступать в регулирующие и запасные емкости, расположенные на территории предприятия, откуда подаваться местными насосными станциями. Возможно организовать подачу воды предприятиям в часы наименьшего потребления воды городом. Это способствует упорядочению суммарного графика водопотребления и повышению экономичности работы городского водопровода в целом.

Расходы на производственные нужды определяют по данным технологических расчетов или удельным нормам расходования воды на единицу продукции, выпускаемой за сутки или смену.

Расходы воды, отбираемой из системы на поливку улиц и зеленых насаждений, не должны попадать в часы максимума расходования воды на хозяйственно-питьевые нужды в наиболее нагруженные сутки.

Для каждой категории потребителей должны быть составлены графики потребления воды в течение суток. Для получения

суммарного графика необходимо сложить ординаты составляющих его графиков. Используя данные суммарного графика водопотребления, проводят расчеты системы на различные моменты времени.

2.4. Режим работы водопровода и его элементов

2.4.1. Режим работы отдельных сооружений и их функциональная взаимосвязь

Установив расчетный график водопотребления, суточные расходы воды и взаимное расположение элементов системы водоснабжения, назначают режим работы отдельных ее сооружений. Он должен обеспечивать режим водопотребления.

Взаимосвязь режима работы системы водоснабжения (см. рис. 2.1, *а*), подающей воду в распределительную сеть, с расчетным графиком водопотребления показана на рис. 2.4. В работе сооружений системы должна быть организована такая взаимосвязь, чтобы были обеспечены заданные требования в отношении водообеспечения потребителя. Водоприемные сооружения, насосная станция I подъема и очистные сооружения обеспечивают забор, подачу и очистку воды в объеме суточного водопотребления. Режим работы этих сооружений для средних и крупных объектов, как правило, назначается равномерным. При этом режиме (линия *1* на рис. 2.4) обеспечиваются наименьшие расчетные нагрузки указанных сооружений и их наименьшая строительная стоимость. В водопроводную сеть вода подается из резервуаров насосной станцией II подъема. При совпадении графика режима работы насосной станции II подъема с графиком водопотребления (линия *3* на рис. 2.4) водонапорная башня для целей регулирования в системе не требуется.

Использование такого режима работы насосной станции при значительной неравномерности водопотребления усложняет и удорожает эксплуатацию и строительство системы. Как правило, используется ступенчатый режим работы насосной станции II подъема (линия *2* на рис. 2.4). При этом режиме в часы максимального водопотребления насосная станция подает несколько меньшее количество воды по сравнению с требуемым. В часы минимального потребления воды подача насосов превышает потребление воды.

В первом случае недостаток воды компенсируется из водонапорной башни, во втором — избыток накапливается в резервуаре башни. Итак, в системе существуют регулирующие резервуары двух типов. К первому относится резервуар чистой воды, находящийся на границе двух зон системы. Режим работы насосной станции I подъема определяет работу сооружений первой зоны; работа сооружений второй зоны определяется режимом работы насосной станции II подъема.

Вторым типом регулирующих резервуаров (емкостей) является водонапорная башня, находящаяся на границе зон, работа сооружений которых определяется режимом подачи воды насосной станцией II подъема и графиком водопотребления. Объем регулирующей емкости водонапорной башни будет тем меньше, чем ближе график работы насосной станции II подъема к графику водопотребления. Это достигается увеличением ступеней графика работы насосной станции и, следовательно, установкой большего числа насосов. В любом случае объем регулирующих емкостей должен быть достаточным для обеспечения суточного водопотребления при их совместной работе с насосными станциями.

Режим работы трубопроводов, подающих воду от водозаборных сооружений на очистные сооружения и в резервуары чистой воды, определяется режимом работы насосной станции I подъема, а режим работы водоводов, транспортирующих воду от резервуаров чистой воды до водонапорной башни, — насосной станции II подъема. На участке от водонапорной башни до города режим работы водоводов зависит от режима водопотребления. Условия работы водонапорной башни также зависят от графика водопотребления города, а ее объем определяется путем совмещения графиков водопотребления города и работы насосной станции II подъема.

К системе водоснабжения предъявляются требования, касающиеся не только подачи воды потребителям в необходимых количествах, но и напоров, которые должны быть обеспечены в точках отбора. Напор, развиваемый насосной станцией, и высота водонапорной башни должны быть достаточными для преодоления потерь напора при движении воды по трубопроводам, а также для подъема воды до наивысшей точки ее отбора и излива.

Большинство потребителей получают воду на некоторой высоте над поверхностью земли (рис. 2.5). Это требует создания в сети в месте присоединения ввода напора, достаточного для

подъема воды на заданную высоту, носящего название свободного напора $H_{св}$:

$$H_{св} = H_г + h_{пот} + H_{ост},$$

где $H_г$ — геометрическая высота подъема воды от поверхности земли до самой высокой водозаборной точки, м; $h_{пот}$ — потери напора во внутренней сети, водомерном узле и вводе, м; $H_{ост}$ — остаточный напор у диктующего прибора, м.

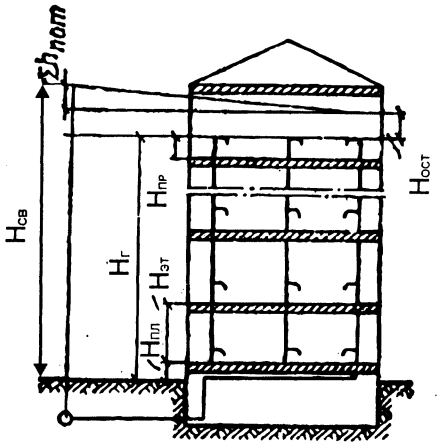


Рис. 2.5. Схема подачи воды в здание

Геометрическая высота подъема воды $H_г$, м, определяется по формуле

$$H_г = H_{пл} + (n - 1)H_{эт} + H_{пр},$$

где $H_{пл}$ — превышение отметки пола первого этажа над поверхностью земли (планировочная высота); n — число этажей в здании; $H_{эт}$ — высота этажа здания; $H_{пр}$ — высота расположения диктующего прибора над полом.

Для предварительных расчетов свободный напор при одноэтажной застройке принимают равным 10 м, а при большей этажности прибавляют по 4 м на каждый этаж:

$$H_{св} = 4(n - 1) + 10,$$

где n — этажность застройки.

В часы минимального водопотребления напор на каждый этаж (кроме первого) допускается принимать 3 м. На промыш-

ленных предприятиях свободный напор определяется технологическим процессом.

Связь между напорами для схемы водоснабжения с башней в начале сети (рис. 2.1, *а*) на момент максимального водопотребления представлена на рис. 2.6. Она определяется положением пьезометрических линий, которые отражают падение напора в сети при движении воды от источника водоснабжения до точек сети, наиболее неблагоприятно расположенных в отношении обеспечения свободных напоров. Эти точки носят названия «диктующих» или «критических». Обычно диктующими точками являются наиболее удаленные от башни точки отбора, имеющие наибольшие геодезические отметки земли. В них будут самые низкие пьезометрические напоры и самые малые свободные напоры.

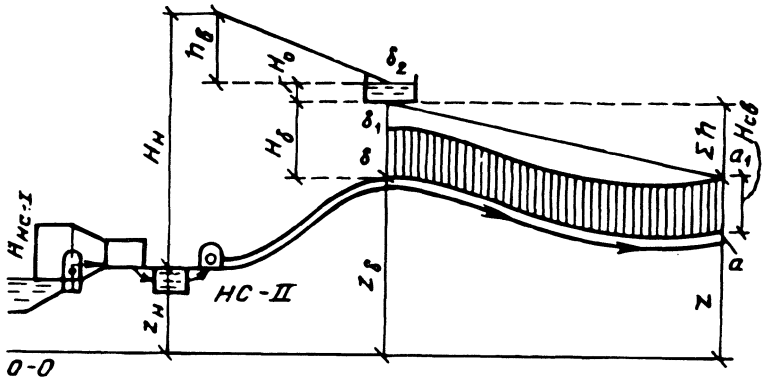


Рис. 2.6. Схема взаимосвязи между напорами в системе водоснабжения с башней в начале сети

Пьезометрический напор представляет собой сумму геодезической отметки рассматриваемой точки и свободного напора в ней. Если за критическую (среди удаленных от башни) принять точку *а*, имеющую наибольшую геодезическую отметку z, то требуемый пьезометрический напор в ней будет равен $z + H_{св}$, где $H_{св}$ — требуемый свободный напор. Свободный напор в этой точке в любой момент должен быть не ниже требуемого. Пьезометрическая линия $а_1б_1$ характеризует падение напора в сети в момент максимального водопотребления. Высота водонапорной башни $H_б$ должна быть такой, чтобы в час максимального водопотребления в точке *а* обеспечивался напор $H_{св}$.

Связь между напорами в точках *б* и *а* определяется уравнением

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

где $z_б$ — отметка земли в месте расположения башни; Σh — потеря напора на участках сети от башни до критической точки *а*.

Пользуясь этим уравнением, можно определить высоту водонапорной башни

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

Она будет тем меньше, чем большее значение имеет величина $z_б$. Поэтому расположение водонапорной башни на возвышенных отметках будет приводить к уменьшению ее строительной стоимости. Если в результате расчета $H_б = 0$, то это указывает на то, что устройство водонапорной башни не требуется. В этом случае вместо башни устанавливается напорный резервуар, который может быть расположен на поверхности земли или быть заглубленным. Стоимость напорных резервуаров всегда меньше стоимости водонапорных башен того же объема.

Положение пьезометрической линии меняется с изменением водопотребления и степени заполнения бака. По мере уменьшения водопотребления потери напора в линиях сети и водоводах также уменьшаются и, следовательно, пьезометрическая линия будет иметь меньший уклон. Она будет поворачиваться вокруг точек $б_1$ и $б_2$ или их промежуточных положений. Пьезометрическая линия займет горизонтальное положение в случае прекращения отбора воды из сети, когда потери напора в ее линиях равны нулю.

Максимально допустимый напор в сети СНиП ограничивают 60 м.

Требуемый напор у насосной станции II подъема определяется из условия возможности подачи воды на отметку максимального уровня воды в баке водонапорной башни:

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

где $z_н$ — отметка уровня воды в резервуаре; H_0 — расчетная высота бака башни; $h_в$ — потери напора в напорных и всасывающих трубопроводах станции, включая потери в коммуникациях.

С изменением уровня воды в баке башни рабочая точка на кривой *Q—H* насосов будет менять свое положение. Одновременно будет изменяться и подача воды насосной станцией. В результате принятый график работы насосной станции харак-

теризует картину ее работы лишь с некоторым приближением. Реальную картину можно получить в результате гидравлических расчетов системы подачи и распределения воды в целом.

Требуемый напор насосов станции I подъема определяется аналогичным образом.

На практике возвышенные отметки снабжаемой водой территории могут находиться в противоположной от насосной станции стороне. Система водоснабжения с башней, установленной на этих отметках, называется системой с контррезервуаром (рис. 2.7). Режим работы этой системы имеет отличия от режима работы системы с башней в начале сети. При максимальном водопотреблении питание потребителей водой осуществляется с двух противоположных сторон: от насосной станции — $Q_н$ и от водонапорной башни — $Q_б$. Для системы водоснабжения с башней в начале сети оно осуществляется в начальной точке сети, т. е. $Q = Q_н + Q_б$.

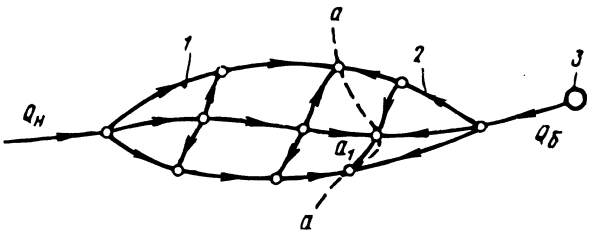


Рис. 2.7. Схема систем водоснабжения с контррезервуаром:
1, 2 — районы питания соответственно от насосов и башни *3*

Приближенно расходы $Q_н$ и $Q_б$ определяются по совмещенному графику режима работы насосной станции и режима водопотребления. В системе с контррезервуаром потоки воды от насосной станции и водонапорной башни будут направлены навстречу друг другу. Линия, проведенная через узлы, в которых произошла встреча потоков, называется границей зон питания (линия *аа* на рис. 2.7). Критической из расположенных на этой линии точек будет та, которая имеет наибольшую геодезическую отметку.

Такой точкой на рис. 2.8 является узел a_1 с геодезической отметкой z. Требуемый свободный напор в этой точке равен $H_{св}$. Зная геодезические отметки расчетного уровня воды в резервуаре чистой воды $z_н$, земли в месте расположения башни $z_б$, а так-

же потери напора $\Sigma h_н$ при движении воды от насосной станции до точки a_1 и потери напора $\Sigma h_б$ по пути от башни до этой точки, можно построить пьезометрические линии для часа максимального водопотребления (линия *1* на рис. 2.8). Они будут иметь уклоны противоположных знаков и общую точку в узле a_1.

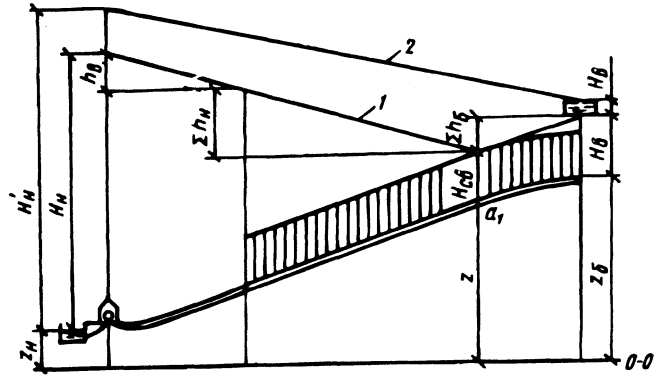


Рис. 2.8. Схема взаимосвязи между напорами в системе водоснабжения с башней в конце сети

Требуемая высота водонапорной башни $H_б$ и необходимый напор насосов $H_н$ определяются по выражениям:

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

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

где $h_б$ — потери напора в водоводах, соединяющих насосную станцию с сетью.

В часы, когда подача насосов в максимальной степени превышает водопотребление, избыток воды транзитом проходит через всю систему трубопроводов и поступает в резервуар водонапорной башни. Этот момент называют моментом максимального транзита. В этом случае пьезометрическая линия приобретает уклон одного знака (линия *2* на рис. 2.8). Напор на насосной станции в этот момент больше напора в час максимального водопотребления. Это вызывается возрастанием потерь напора в сети из-за увеличения пути транспортирования воды, а также ее количества в районе границы зон питания.

Приведенные схемы водоснабжения не ограничивают их многообразия. Они определяются рядом факторов: числом источников питания, местом их расположения, конфигурацией территории, ее рельефом и т. д.

2.4.2. Работа системы водоснабжения при возникновении пожара

Для создания более жестких условий в отношении нагрузок на систему водоснабжения нормами проектирования предусматривается возможность возникновения пожара в часы максимального водопотребления. В результате такого предположения отбираемые расходы воды из сети возрастают. Это приводит к росту потерь напора в линиях сети и расходов, подаваемых насосной станцией.

Число пожаров и объемов воды для пожаротушения определяется в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84*. В качестве мест пожара выбираются узлы сети, наиболее удаленные от источника питания системы, с максимальными геодезическими отметками. Если однозначно выбрать эти узлы нельзя, то проводят гидравлические расчеты с альтернативными вариантами. Анализ их результатов позволяет выбрать вариант, который является диктующим.

По способу тушения пожара системы разделяют на системы пожаротушения высокого и низкого давления. В системах первого вида водопровод в момент пожара должен обеспечивать подачу воды при давлениях, достаточных для создания струй непосредственно от гидрантов. Эти системы используются на промышленных предприятиях с высокой пожарной опасностью. В системах водоснабжения городов и населенных пунктов, как правило, применяются системы пожаротушения низкого давления. При их устройстве требуется, чтобы в момент пожара свободные напоры во всех узлах сети были не ниже 10 м.

Известны различные схемы хранения противопожарного запаса воды.

При хранении воды в резервуарах чистой воды насосная станция II подъема должна обеспечивать подачу, равную сумме хозяйственно-питьевой и противопожарной потребности. Если схемой водоснабжения предусмотрено устройство напорных регулирующих резервуаров, противопожарный запас может храниться в них. Тогда противопожарный расход подается из напорных резервуаров, а на хозяйственно-питьевые нужды вода поступает от насосов станции II подъема. Возможна схема, при которой часть противопожарного запаса хранится в резервуарах чистой воды вблизи насосной станции II подъема, а часть — в напорно-регулирующих емкостях.

Рассмотрим режимы пожарной работы водопровода (рис. 2.9) в системах высокого и низкого давления. Предположим, что сеть должна быть рассчитана на пожар при наличии системы высокого давления. Пожар происходит в наиболее возвышенной из удаленных точек сети N в момент максимального хозяйственно-питьевого водозабора. При этом в узле N должен быть обеспечен свободный напор $H_{св}^{п.н}$, который превышает свободный напор при режиме хозяйственно-питьевого водоснабжения $H_{св}^{х-п}$. Потери напора в сети $h_с^{п.в}$ и в водоводах $h_в^{п.в}$ в момент пожара при тех же диаметрах труб будут больше потерь напора $h_с^{х-п}$ и $h_в^{х-п}$ при хозяйственно-питьевом режиме работы. Следовательно, пьезометрическая линия *1*, соответствующая моменту пожара, будет проходить выше линии *2* момента хозяйственно-питьевого водопотребления. Поэтому требуемый напор на насосной станции при пожаре $H_н^{п.в}$ больше напора $H_н^{х-п}$.

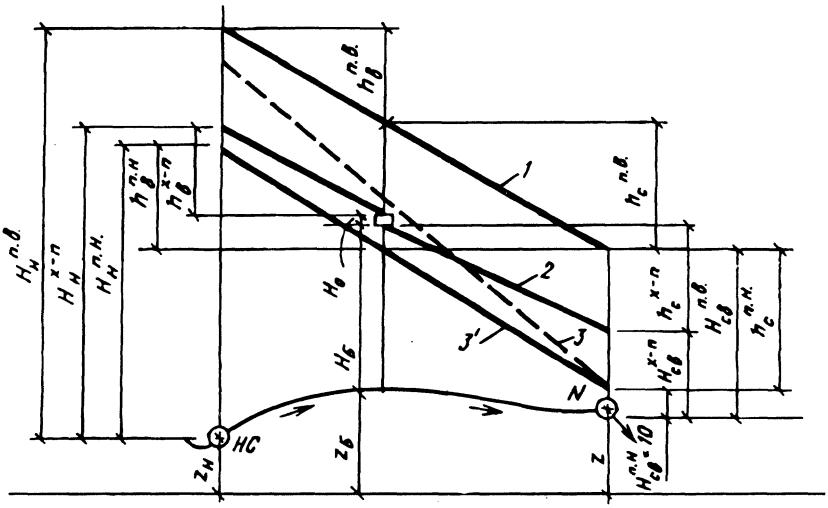


Рис. 2.9. Схема взаимосвязи между напорами при пожаре в системе водоснабжения высокого и низкого давления

Обычно при системе высокого давления напор, получающийся в этом случае у башни, превосходит ее высоту и башня на время пожара должна быть выключена. Иначе невозможно будет поднять давление в сети за башней до необходимой при пожаре величины. В самой башне, если она не выключена при увеличении напора у насосов, будет наблюдаться усиленное поступление воды в бак, которое может повлечь переполнение бака.

В системе низкого давления при пожаре в узле N устанавливается свободный напор $H_{св}^{п.н} = 10$ м, который ниже $H_{св}^{х-п}$ или равен ему. В результате возросших расходов воды при пожаре по сравнению с режимом нормального хозяйственно-питьевого водопотребления потери напора в водоводах $h_в^{п.н} > h_в^{х-п}$ и $h_с^{п.н} > h_с^{х-п}$ и, следовательно, уклон пьезометрической линии (*3* и *3'*) при пожаре больше уклона пьезометрической линии *2*. Соотношение между указанными потерями напора, а также между $H_{св}^{х-п}$ и $H_{св}^{п.н}$ влияет на положение пьезометрической линии (*3* и *3'*) относительно бака башни. Если она пройдет выше башни, то требуемый свободный напор ($H_{св}^{п.н} = 10$ м) в узле будет обеспечен, когда башня отключена от водоводов. В противном случае, как и при системе высокого давления, в узле N невозможно обеспечить требуемый свободный напор. Если пьезометрическая линия пройдет ниже бака башни, то последняя может продолжать работу.

Отличие расчета пожара при схеме с контррезервуаром от рассматриваемой выше будет заключаться в том, что отметка контррезервуара, определенная в результате хозяйственно-питьевого расчета сети, обычно будет превышать напор около башни, полученный при работе на пожаре. Поэтому в указанных схемах башня во время пожара большей частью может не выключаться. Однако поскольку в городских водопроводах запас воды на тушение пожара обычно хранят не в башне, а в резервуарах чистой воды у насосной станции II подъема, то работа сети при пожаре не отражается на высоте башни. Требуемый напор противопожарных насосов определяется по ранее приведенным формулам.

В системах хозяйственно-противопожарного водоснабжения запас воды на пожаротушение хранится в резервуаре чистой воды. Израсходованный за время пожара пожарный запас воды необходимо восстановить. Его восполнение производится при интенсификации работы водоприемника, насосной станции I подъема и очистных сооружений станции.

2.4.3. Выбор расчетных режимов работы системы водоснабжения

Расчетными считаются случаи, при которых имеют место максимальные нагрузки по расходу воды и напору для отдельных элементов системы водоснабжения. В пределах рассматриваемой очереди развития водопровода расчетным является последний

год, для которого принимают средние нормы водопотребления, расчетное число жителей и находят средний за год расчетный суточный расход воды $Q_{сут}$, который позволяет, зная коэффициенты неравномерности $K_{сут.макс}$ и $K_{сут.мин}$, найти максимальный $Q_{сут.макс}$ и минимальный $Q_{сут.мин}$ суточные расходы. При проектировании системы водоснабжения приходится проводить гидравлические расчеты при различных нагрузках водопотребления.

Все сооружения системы водоснабжения рассчитывают при нагрузках, соответствующих суткам максимального водопотребления в соответствии с графиком водопотребления.

Водопроводные сети необходимо рассчитывать на работу в час максимального водопотребления, а сети с контррезервуаром, кроме того, должны быть рассчитаны на работу в час максимального транзита в напорно-регулирующую емкость.

Наряду с этим водоводы, распределительную сеть и насосы станции II подъема нужно проверить на одновременную подачу максимального часового и противопожарного расходов воды в сутки максимального водопотребления. Рекомендуется провести расчеты системы подачи и распределения воды на минимальный часовой расход в дни минимального водопотребления, при котором возможны наибольшие давления в сети. Целесообразно выполнить расчет на средний часовой расход в сутки среднего водопотребления, что позволяет ориентировочно определить за расчетный срок для данного этапа развития системы затраты энергии на подъем воды. Помимо этого необходимо выполнить расчеты, обосновывающие мероприятия по обеспечению водой потребителей в заданных пределах в случае возникновения аварий.

Ряд проведенных расчетов позволяет выбрать оборудование системы, обеспечивающее как ее работоспособность, так и экономичность.

2.5. Водонапорные башни и пневматические установки

Водонапорные башни необходимы для регулирования режима работы насосной станции II подъема в соответствии с режимом водопотребления. При значительной неравномерности водопотребления практически трудно (либо невыгодно) достигнуть совпадения потребления и подачи воды.

Регулирующий объем водонапорной башни определяют по совмещенным ступенчатым или интегральным графикам рабо-

ты насосов и водопотребления. Дополнительно объем бака башни должен содержать противопожарный запас, рассчитанный для населенных пунктов на тушение одного внутреннего и одного наружного пожара в течение 10 мин, а для промышленных предприятий — на тушение только одного внутреннего пожара. Иногда в водонапорной башне содержится и аварийный запас воды.

Регулирующий объем бака определяют по максимальному остатку в нем воды. Как видно из табл. 2.8, регулирующий объем бака при ступенчатой работе насосов равен 5,2 %, а при равномерной работе — 19,16 %, т. е. при ступенчатой работе насосов можно значительно сократить объем бака.

Графический расчет выполняют путем построения интегральной кривой водопотребления и графика подачи воды насосами (рис. 2.10). Регулирующий объем бака равен сумме наибольших разностей ординат между кривыми *1* и *2*. При равномерной работе насосов эта сумма составляет 13,02 + 6,14 = 19,16 % суточного расхода.

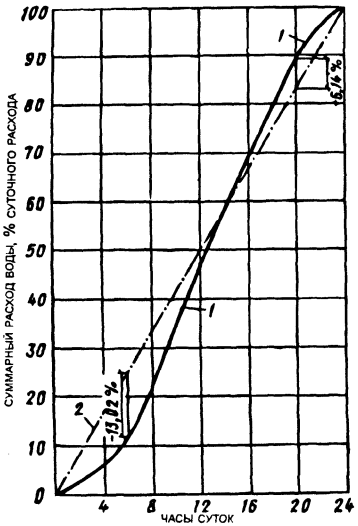


Рис. 2.10. Интегральный график водопотребления (1) и подачи воды насосами (2)

Водонапорная башня состоит из резервуара или бака и поддерживающей конструкции (ствола). В районах с суровым климатом вокруг бака устраивают шатер. Существуют несколько схем подающих и отводящих труб водонапорной башни.

Таблица 2.8

Определение требуемого регулирующего объема бака водонапорной башни для равномерного и ступенчатого режимов работы насосов в течение суток, %

Часы суток	*Подача насосами при работе*		*Водопотребление*	*Приток в бак при работе*		*Расход из бака при работе*		*Остаток в баке при работе*	
	равномерной	*ступенчатой*		*равномерной*	*ступенчатой*	*равномерной*	*ступенчатой*	*равномерной*	*ступенчатой*
0–1	4,17	—	1,5	2,67	—	—	1,5	8,83	2,20
1–2	4,17	—	1,5	2,67	—	—	1,5	11,50	0,70
2–3	4,16	0,80	1,5	2,67	—	—	0,7	14,16	0,00
3–4	4,17	2,80	1,5	2,67	1,30	—	—	16,83	1,30
4–5	4,17	2,80	2,5	1,67	0,30	—	—	18,50	1,60
5–6	4,16	5,50	3,5	0,66	2,00	—	—	19,16	3,60
6–7	4,17	5,50	4,5	—	1,00	0,33	—	18,83	4,60
7–8	4,17	5,50	5,5	—	—	1,33	—	17,50	4,60
8–9	4,16	5,50	6,25	—	—	2,09	0,75	15,41	3,85
9–10	4,17	5,50	6,25	—	—	2,08	0,75	13,33	3,10
10–11	4,17	5,50	6,25	—	—	2,08	0,75	11,25	2,35
11–12	4,16	5,50	6,25	—	—	2,09	0,75	9,61	1,60
12–13	4,17	5,50	5,00	—	0,5	0,83	—	8,33	2,10
13–14	4,17	5,50	5,00	—	0,5	0,83	—	7,50	2,60
14–15	4,16	5,50	5,50	—	—	1,34	—	6,16	2,60
15–16	4,17	5,50	6,00	—	—	1,83	0,5	4,33	2,10
16–17	4,17	5,50	6,00	—	—	1,83	0,5	2,50	1,60
17–18	4,16	5,50	5,50	—	—	1,34	—	1,16	1,60
18–19	4,17	5,50	5,00	—	0,5	0,83	—	0,33	2,10
19–20	4,17	5,50	4,50	—	1,0	0,33	—	0,00	3,10
20–21	4,16	5,50	4,00	0,16	1,5	—	—	0,16	4,60
21–22	4,17	2,80	3,00	1,17	—	—	0,2	1,33	4,40
22–23	4,17	2,80	2,00	2,17	0,80	—	—	3,50	5,20
23–24	4,16	—	1,5	2,66	—	—	1,5	6,16	3,70
Итого	100,0	100,0	100,0	19,16	9,4	19,16	9,4	—	—

Вода в бак подается по трубе *1* на отметку, соответствующую наибольшему наполнению (рис. 2.11). На конце трубы установлен поплавковый клапан *5* для автоматического закрытия подающей трубы при наполнении бака. Из бака вода отводится по трубам *1* и *2*. Труба *2* оборудована обратным клапаном *3*, препятствующим поступлению по ней воды в бак. Конец трубы *2* с сеткой *4* расположен на некоторой высоте над дном с тем, чтобы не происходило засасывания осадка, который может скапливаться на дне бака. Задвижка *10* предназначена для отключения водонапорной башни от сети. К переливной трубе *9* с воронкой *6* присоединена грязевая труба *7* с задвижкой *8*, предназначенная для удаления скапливающегося на дне бака осадка и отвода воды при его промывке. При жесткой заделке труб в днище резервуара на стояках трубопроводов *1* и *9* устраивают сальниковые компенсаторы.

При такой схеме оборудования водонапорной башни обеспечивается постоянное перемешивание воды в баке, что способствует ее незамерзанию. Для оборудования башни применяют стальные трубы. С целью осмотра бака снаружи и внутри устанавливают лестницы.

Резервуары водонапорных башен, как правило, устанавливают круглой формы в плане. Предпочтительно, чтобы отношение высоты бака башни к ее диаметру было небольшим. В этом случае исключаются значительные колебания напоров в системе при различных режимах и обеспечиваются более благоприятные условия работы насосов.

Резервуары водонапорных башен бывают железобетонными и стальными. Наиболее широко распространены железобетонные резервуары, защита которых от коррозии проще и долговечнее защиты стальных. Все более широкое распространение получает предварительно напряженный железобетон, повышающий водонепроницаемость баков. Стальные баки характеризуются меньшей массой, индустриальностью изготовления и монтажа, полной герметичностью. Они широко применяются в зарубежных странах.

Резервуары могут иметь плоское или вогнутое днище. Придание вогнутым днищам полусферической, эллипсоидальной и радиально-конической форм позволяет увеличивать диаметр резервуара (при одном и том же объеме) по сравнению с диаметром резервуара с плоским днищем. Благодаря этому колебания напора могут быть сокращены до минимума. Однако резер-

вуары с вогнутыми днищами сложнее в изготовлении. В нашей стране наиболее широко применяют резервуары с плоским и полусферическим вогнутым днищами.

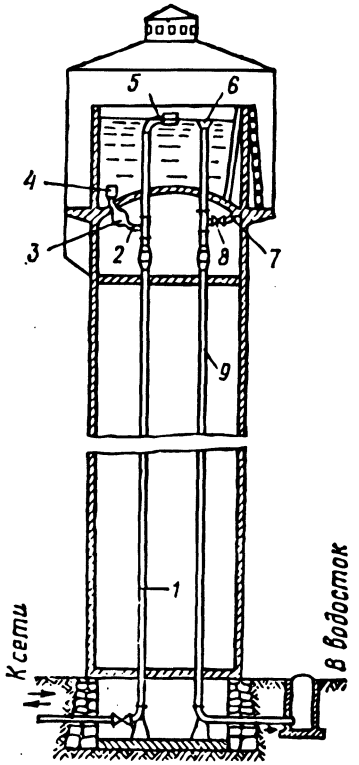


Рис. 2.11. Схема оборудования водонапорной башни трубопроводами

При наличии опасности замерзания воды в резервуаре вокруг него устраивают шатер, который в зависимости от конструкции водонапорной башни выполняется из железобетона, кирпича или дерева. Для предотвращения замерзания возможно применение электрообогрева.

В башнях большой вместимости при наличии обмена воды с относительно высокой температурой шатры могут отсутствовать даже в суровых климатических условиях. Бесшатровые металлические башни бывают как с теплоизоляцией, так и без нее.

Сверху резервуар башни перекрывается. Перекрытие (крыша) обеспечивает его жесткость и служит для защиты от температурных колебаний и загрязнений. Поддерживающие конструкции водонапорных башен выполняют из железобетона, металла и кирпича в виде сплошной стенки или колонн, имеющих различное архитектурное оформление. Наиболее распространены конструкции из железобетона. Внутреннее пространство, образуемое поддерживающими конструкциями, может использоваться для технических и общественных целей, но при условии исключения какого-либо воздействия на качество воды, находящейся в резервуаре.

Водонапорные башни могут быть выполнены также из кирпича и дерева. Деревянные водонапорные башни применяют в основном на временных водопроводах.

Башни оборудуют сигнализацией, передающей показания уровня воды на насосную станцию или диспетчерский пункт водопроводного хозяйства.

В системах водоснабжения небольших объектов иногда применяют **гидропневматические установки**. Они выполняют роль водонапорной башни. Требуемый напор в них создается давлением сжатого воздуха.

Эти установки бывают переменного и постоянного давления. Схема установки переменного давления показана на рис. 2.12. В часы минимального водопотребления, когда подача воды насосами *2*, забирающими воду из резервуара *1*, превышает водозабор, избыток воды поступает в водовоздушный бак *5*. При этом повышается уровень воды и увеличивается давление воздуха вследствие его сжатия. При достижении максимального уровня в баке, соответствующего отметке z_2, реле давления *4* размыкает цепь питания катушки магнитного пускателя *3* и электродвигатель насоса отключается от питающей его электросети. С этого момента подача воды в водовод *7* осуществляется от гидропневматического бака под давлением сжатого воздуха p_{max}. В процессе сработки уровня воды давление в баке снижается. При достижении уровня, соответствующего отметке z_1, давление в баке снизится до p_{min}. В этот момент реле включает электродвигатели насосов. Рабочий цикл установки повторяется. Минимальное давление p_{min} назначается из условия обеспечения требуемого свободного напора в диктующей точке водоразбора. Во все остальные моменты, когда $p > p_{min}$, свободный напор в этой точке будет выше требуемого.

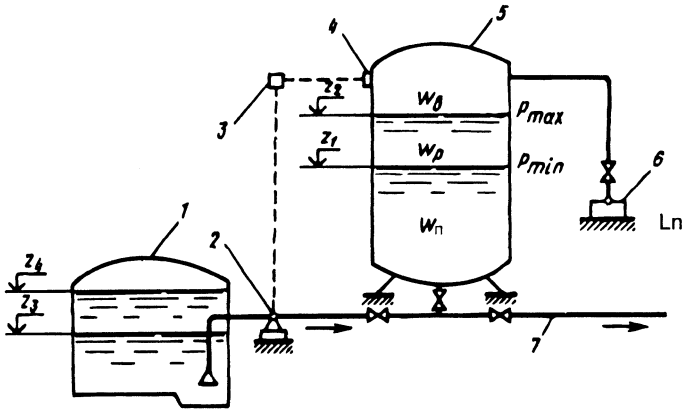


Рис. 2.12. Схема гидропневматической установки

Регулирующий объем водовоздушного бака *5*, заключенный между уровнями z_1 и z_2, определяется путем совмещения графиков подачи и потребления воды. Существует схема таких установок с двумя баками, один из которых предназначен для воды, а другой — для сжатого воздуха. Они соединены друг с другом трубопроводом. Эти установки рассчитаны на большую производительность.

В гидропневматических установках переменного давления насосы должны работать в широком диапазоне характеристики *Q—H*. В процессе эксплуатации определенная часть воздуха, находящегося в баке, растворяется в воде, вытекает через неплотности. Для поддержания давления воздуха в баке установка оборудуется компрессором *6*.

Установки постоянного давления позволяют с помощью регулятора давления поддерживать постоянное давления воздуха в гидропневматическом баке и тем самым обеспечивать постоянство расхода и давления у потребителя. Эти установки несколько сложнее описанных выше. Они могут применяться в системах пожаротушения и промышленного водоснабжения, если изменение напора приводит к недопустимым колебаниям расходов воды.

2.6. Резервуары чистой воды

Резервуары в системах водоснабжения используются как регулирующие емкости. Одновременно в них могут храниться

противопожарные и аварийные запасы воды. Если рельеф местности позволяет располагать резервуары на достаточно высоких отметках, они могут служить напорными емкостями; если воду из резервуаров необходимо перекачивать к потребителю, то они называются безнапорными. Объем резервуаров зависит как от их назначения, так и от производительности системы водоснабжения. Объем резервуаров, устанавливаемых вместо башен, определяется по тем же принципам, что и регулирующие объемы водонапорных башен.

Регулирующий объем $W_р$ резервуаров чистой воды, находящихся на территории очистных сооружений, определяют по совмещенным графикам работы насосных станций I и II подъемов. Этот объем необходим для согласования работы в равномерном режиме насосной станции I подъема и очистных сооружений с работой в неравномерном режиме насосной станции II подъема.

В резервуаре чистой воды (рис. 2.13) хранится также запас воды, необходимый для собственных, технологических нужд очистной станции $W_{с.н}$, и запас воды для целей пожаротушения $W_п$. Тогда суммарный объем резервуара чистой воды составит $W = W_р + W_{с.н} + W_п$.

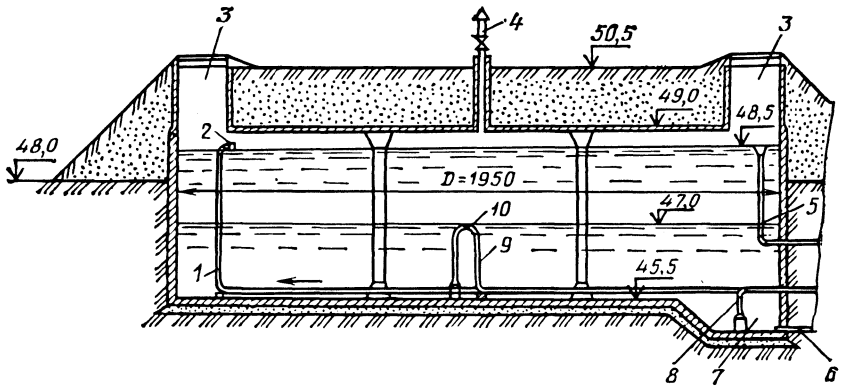


Рис. 2.13. Резервуар чистой воды:
1 — подающая труба; *2* — поплавковый клапан; *3* — лазы; *4, 5, 6* — вентиляционная, переливная и спускная трубы; *7* — приямок; *8, 9* — всасывающая труба пожарного и хозяйственного насосов; *10* — отверстие для срыва вакуума

Величина $W_{с.н}$, определяемая технологическими расчетами, обычно составляет 2–8 % суточной производительности. Про-

тивопожарный объем $W_п$ назначают из условия длительности пожара в течение 3 ч. В этот период насосы будут забирать из резервуаров пожарный расход $q_п$ и максимальный хозяйственно-питьевой расход $q_{х-п}$.

Одновременно с этим в резервуар будет поступать вода от очистных сооружений в количестве q_1, тогда противопожарный объем при 3-часовом запасе $W_п = 3q_п + q_{х-п} - 3\ q_1$ где $q_{х-п}$ — суммарный расход в период наибольшего водопотребления в течение 3 ч (в соответствии с графиком водопотребления).

При определении полного объема резервуара учитывают также аварийный запас, предусматриваемый в случае подачи воды по одному водоводу.

В современных условиях в основном применяют резервуары из железобетона. Они бывают различных конструкций, круглой и прямоугольной форм и монтируются различными способами. В некоторых странах применяют стальные резервуары. Однако из-за большой металлоемкости, трудности защиты от коррозии и необходимости устройства термоизоляции они не нашли широкого распространения.

В зависимости от заглубления резервуары подразделяют на подземные и полуподземные. Они бывают объемом от нескольких сот до десятков тысяч кубических метров и выполняются по типовым проектам.

На территории, снабжаемой водой из резервуаров одного назначения, их должно быть не менее двух. Между ними располагают специальные камеры (колодцы), в которых размещают задвижки для осуществления различных переключений между резервуарами и водоводами. Если в резервуарах не находится противопожарный и аварийный запас, то возможно устройство одного резервуара.

Резервуары оборудуются подводящими и отводящими трубопроводами, переливными и спускными устройствами, системой вентиляции, люками для прохода обслуживающего персонала и транспортирования оборудования, контрольно-измерительной аппаратурой. В целях предотвращения застаивания воды и изменения ее качества в резервуарах хозяйственно-питьевого назначения должен быть обмен пожарного и аварийного объемов в течение 2 суток.

Гарантия неприкосновенности пожарного запаса осуществляется путем устройства колена на хозяйственно-питьевом трубопроводе, в верхней части которого имеются отверстия, располо-

женные на отметке верха противопожарного уровня. Колено работает как сифон, в котором происходит срыв вакуума при снижении уровня воды до указанной отметки.

На рис. 2.14 приведена схема оборудования резервуара чистой воды, где сохранность противопожарного запаса обеспечивается путем устройства колодца.

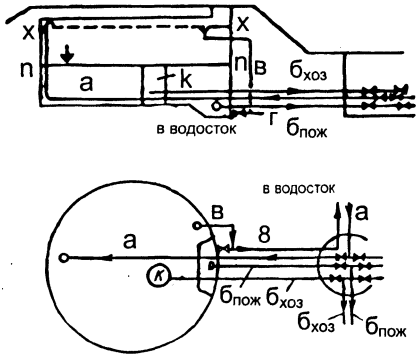


Рис. 2.14. Схема оборудования трубопроводами резервуара чистой воды

Регулирующий объем находится между уровнями *хх* и *пп*, а запасной — от уровня *пп* до дна резервуара. От очистных сооружений вода поступает по трубопроводу *а* в верхнюю часть резервуара. Всасывающие трубопроводы хозяйственно-питьевых насосов $б_{хоз}$ расположены в открытом колодце *к* (верх которого находится на уровне *пп*) и не могут забирать воду, предназначенную для пожаротушения. Пожарные насосы имеют самостоятельные всасывающие трубопроводы $б_{пож}$, оканчивающиеся на отметке дна резервуара. Резервуар оборудуется также переливной трубой *в*, присоединенной к водостоку, а также спускной (грязевой) трубой *г*, идущей от низа приямка к переливной трубе.

Гарантия неприкосновенности пожарного запаса в резервуарах также может предусматриваться за счет отбора хозяйственно-питьевых и противопожарных расходов с разных отметок.

При больших объемах применяют резервуары прямоугольной формы с плоскими балочными или безбалочными перекрытиями. В настоящее время при строительстве резервуаров широко используется предварительно напряженный железобетон, что обеспечивает их повышенную прочность и герметичность.

Резервуар цилиндрической формы с плоским перекрытием объемом до 2000 м^3 показан на рис. 2.15.

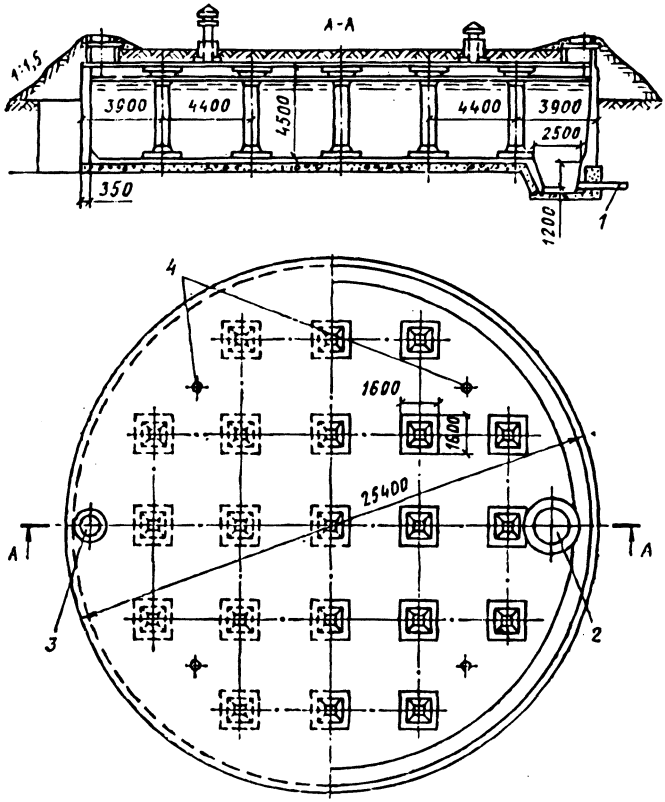


Рис. 2.15. Конструкция резервуара цилиндрической формы:
1 — грязевая труба; *2* — приямок; *3* — лаз; *4* — вентиляционные трубопроводы

Раздел 3. Водопроводные сети, водоводы и сооружения на них

3.1. Классификация и трассировка водопроводных сетей и водоводов

Транспортирование воды к потребителям осуществляется по водоводам, соединяющим отдельные элементы системы водоснабжения, и водопроводным сетям, распределяющим воду по территории данного объекта.

Водоводы и водопроводные сети должны отвечать определенным требованиям надежности и экономичности. Это достигается правильным выбором трассы водоводов и конфигурации сети, материала и диаметров труб, режима их работы. При выборе, отводе и использовании земель под трассы водоводов должны соблюдаться Основы земельного законодательства и ряд нормативных актов. В соответствии с этими документами водоводы, как правило, прокладываются вблизи дорог с учетом границ землепользования и севооборотов. Если это приводит к значительному удлинению трассы, необходимо технико-экономическими расчетами обосновать ее начертание с учетом дополнительных расходов на временное использование посевных площадей и потраву посевов в случае ликвидации аварий.

Водоводы прокладывают в одну, две и более ниток. Их целесообразно прокладывать на относительно возвышенных отметках местности с минимальным числом искусственных сооружений, в местах, доступных для эксплуатации и производства ремонтных работ. Для обеспечения заданного уровня снабжения водой потребителей между параллельно уложенными водоводами устраивают переключения, а вдоль трассы и на территории объекта могут устанавливаться емкости.

Водоводы по способу транспортирования воды подразделяются на **напорные и безнапорные**. Перекачка воды по напорным водоводам может осуществляться насосами или в результате разницы пьезометрической отметки уровня воды в источнике и расчетной пьезометрической отметки в месте водоотбора. Первые водоводы называются нагнетательными, вторые — гравитационными напорными или самотечно-напорными.

Безнапорные водоводы (гравитационные самотечные) работают неполным сечением. Область их применения не столь широка по сравнению с напорными водоводами. Их применение

зависит от разности отметок начальной и конечной точек пути подачи воды, рельефа местности, расстояния между узлами подачи и отбора воды. Использование безнапорных труб приводит к уменьшению единичной стоимости таких водоводов по сравнению с напорными. Однако увеличение протяженности трассы из-за необходимости обеспечения требуемых уклонов может привести к возрастанию их общей строительной стоимости.

Водопроводная сеть устраивается для транспортирования и отдачи воды потребителям по всей территории объекта. Конфигурация сети зависит от планировки объекта, формы его поверхности, наличия естественных и искусственных препятствий, рельефа местности, расположения крупных потребителей воды, места расположения источника водоснабжения и т. д. По конфигурации сети бывают **кольцевыми, разветвленными или тупиковыми и смешанными**.

Кольцевые сети гарантируют надежную и бесперебойную подачу воды, смягчают действие гидравлических ударов, имеют меньшие диаметры труб и обеспечивают циркуляцию воды. Недостатком кольцевой сети является большая протяженность, а следовательно, высокая стоимость.

Линии сети, транспортирующие основные потоки воды, называются **магистральными**. Вне зависимости от типа сети магистрали должны прокладываться в направлении основных потоков воды и охватывать всю территорию населенного пункта. Различные типы кольцевых сетей приведены на рис. 3.1.

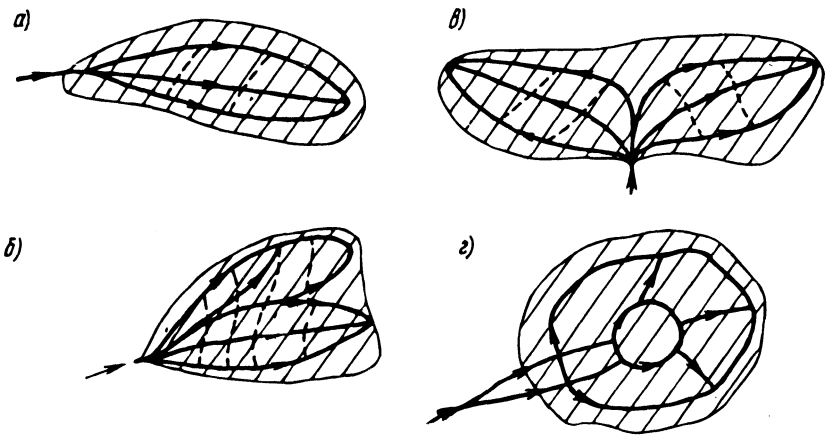


Рис. 3.1. Типы кольцевых сетей

Расположение узла питания и форма территории, показанные на рис. 3.1, *а*, позволяют ограничиться несколькими магистралями в виде пучка линий вдоль города, идущих из узла питания. При территории населенного пункта, имеющего расширение по мере удаления от источника, расположение магистралей может иметь вид, приведенный на рис. 3.1, *б*. Если территория города растянута в направлении, перпендикулярном направлению подачи воды, то начертание основных линий сети имеет вид, приведенный на рис. 3.1, *в*. На рис. 3.1, *г* показана система основных линий в виде концентрически расположенных колец, питаемых системой водоводов и радиальных магистралей.

Наличие нескольких источников питания или нескольких регулирующих емкостей должно учитываться конфигурацией магистральной сети.

В кольцевых сетях помимо магистралей имеются перемычки, предназначенные в основном для перераспределения воды между магистралями при аварии на одной из них. Перемычки на рис. 3.1, *а–в* показаны в виде пунктирных линий.

Вода от магистральной сети к домовым ответвлениям и пожарным гидрантам при пожаре подается по **распределительной** сети, прокладываемой по улицам и проездам. Диаметры этой сети в отличие от магистральной, как правило, не рассчитываются, а принимаются в соответствии с пропускаемым пожарным расходом. Распределительная сеть оказывает существенную помощь системе магистральных линий во время аварии при переброске расходов воды с одних магистралей на другие.

Отбор воды может происходить и от линий магистральной сети, если их диаметры невелики. При больших диаметрах магистралей экономически оправдано применение так называемых сопровождающих линий, прокладываемых между узлами параллельно участку магистрали. К этим линиям присоединяются домовые ответвления.

В водопроводах малых населенных пунктов или в концевых участках городской сети нет различия между магистральными и распределительными линиями, так как все они участвуют и в транспортировании, и в отдаче воды потребителям. Такая водопроводная сеть называется **обезличенной**, и диаметры всех линий сети должны определяться расчетом.

Обычно гидравлическому и технико-экономическому расчетам подвергаются магистральные сети, что значительно облегчает процесс их проведения, анализ результатов и принятие решений.

Система магистральных линий и перемычек образует кольца, как правило имеющие удлиненную форму, вытянутую в направлении основного потока воды. Распределительная сеть, примыкающая к магистральной, будет в основном также представлять систему взаимно перекрещивающихся линий.

При устройстве разветвленной сети (рис. 3.2) подача воды потребителю возможна по единственному направлению. Разветвленная сеть дешевле, чем кольцевая, но она менее надежна: авария на любом участке этой сети приводит к перерыву подачи воды потребителям, находящимся за местом ее возникновения. Применение разветвленной сети возможно на объектах, допускающих перерыв в подаче воды на период ликвидации аварии. Обеспечение надежности работы этих сетей достигается устройством аварийных резервуаров.

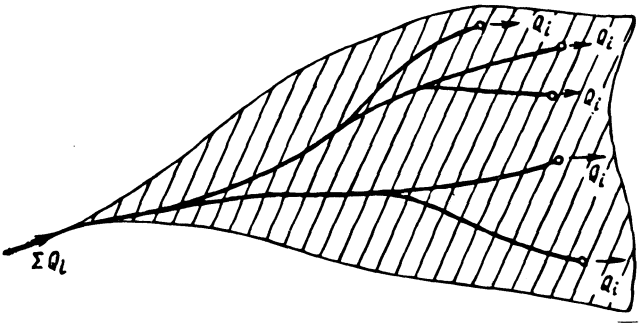


Рис. 3.2. Разветвленная водопроводная сеть

Для большинства объектов водоснабжения сети проектируют кольцевыми, особенно при объединении хозяйственно-питьевой системы водоснабжения с противопожарной. Устройство смешанных сетей, представляющих собой комбинацию кольцевых и разветвленных сетей, можно рассматривать в большинстве случаев как временную меру снабжения водой до превращения сетей в кольцевые при дальнейшем развитии водопровода.

Первоочередной задачей при проектировании и расчете водоводов и водопроводных сетей является обоснование выбора линий трасс на плане. Трассировку производят исходя из условия обеспечения надежности работы водоводов и сетей и наименьшей строительной стоимости. Трассировка зависит от планировки населенного пункта, размещения отдельных крупных потребителей, наличия естественных и искусственных препят-

ствий при прокладке труб (рек, каналов, оврагов, железнодорожных путей и т. п.), рельефа местности.

Желательно прокладывать магистрали по повышенным отметкам для создания напора в распределительной сети. Кроме того, выбор трассы зависит от места расположения регулирующих емкостей.

При выборе трассы водоводов стремятся проложить их по кратчайшему расстоянию от водопитателя до сети; по территории с минимальным числом промышленных предприятий; вблизи автодорог для удобства обслуживания; в геологических условиях, обеспечивающих минимальные затраты на строительство.

Магистральные линии прокладывают в направлении движения по кратчайшему пути основной массы воды к наиболее крупным потребителям и регулирующим емкостям. Для надежности делают не менее двух параллельных магистральных линий на расстоянии 400–800 м. Магистрали соединяются перемычками через 600–1000 м.

3.2. Расчетная схема отбора воды

После установления геометрических параметров сети намечают места и значения подач и отборов воды. На основании графика водопотребления и режима работы водопитателей устанавливают расходы воды, поступающие в сеть. Действительная картина отбора воды из сети может быть представлена лишь для объектов с небольшим числом потребителей. Вследствие того что число точек отбора воды из сети городского водопровода (число домовых ответвлений) очень велико и режим отбора воды в них разнообразен, учесть при расчете сети действительную картину водоразбора практически невозможно. Поэтому при гидравлическом расчете сети применяется упрощенная условная схема отбора воды, наиболее близко соответствующая вероятной картине водоразбора из сети.

Рассмотрим один из участков распределительной сети (рис. 3.3). Под участком сети подразумевается линия, ограниченная двумя узлами сети. Между точками *I* и *II* в отдельных местах отбора наблюдаются различные по величине расходы q_i. Это же характерно и для всех остальных участков распределительной сети *А—Б*. Линия *А—Б* может питать водой не только вводы, но и присоединяемые к ней распределительные линии. Упрощенная схема предусматривает, что подаваемая в сеть вода

расходуется равномерно по ее длине. Расход, приходящийся на единицу длины сети, называется удельным расходом. В сумму равномерно распределенных расходов не включаются большие сосредоточенные расходы, к которым относятся расходы воды отдельных крупных предприятий и противопожарные расходы.

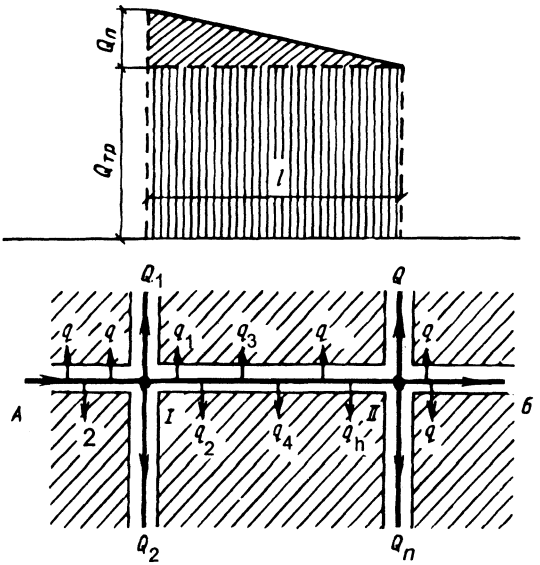


Рис. 3.3. Схема отбора воды из сети и распределения расходов по длине участков сети

Удельный расход $q_{уд}$ определяют по формуле

$$q_{уд} = \frac{Q - Q_{соср}}{\sum l},$$

где Q — общий расход воды, отдаваемый сетью, л/с; $Q_{соср}$ — сосредоточенные расходы на производственные нужды крупных предприятий, противопожарные расходы, л/с; Σl — суммарная длина линий, разводящих воду, м.

В сумму длин Σl не входят длины линий водоводов и сетей, проходящих по незастроенной территории, которые не отдают воду потребителям по пути. Удельный расход меняется с изменением режима водопотребления и плотности населения.

Одним из недостатков разбивки расхода пропорционально длинам линий является то, что длина линии еще не определяет число снабжаемых водой жителей и, следовательно, количе-

ство отдаваемой воды. При одной и той же длине линии могут снабжать водой различную площадь и различное число жителей. Уточнение расчета может быть достигнуто, если удельный расход определять не на единицу длины сети, а на единицу площади территории кварталов населенного пункта, снабжаемых водой.

Если всю водопроводную сеть разбить на участки, то суммарный равномерно распределенный расход будет равен сумме расходов по всем участкам. Расход воды, отдаваемый каждым участком, называется путевым расходом. Он равен:

$$Q_{\text{п}} = q_{\text{уд}} l.$$

Сумма всех путевых и сосредоточенных расходов равна полному расходу Q в расчетный момент времени.

По каждому участку сети, кроме путевого расхода $Q_{\text{п}}$, пропускается транзитный расход $Q_{\text{тр}}$, необходимый для питания последующих участков. При этом расход в начале участка составляет $Q_{\text{п}} + Q_{\text{тр}}$, а в конце — $Q_{\text{тр}}$. Транзитный расход постоянен для рассматриваемого участка. Графическое изображение этих расходов на участке сети длиной l показано на рис. 3.3.

При гидравлическом расчете используются расчетные эквивалентные расходы, заменяющие переменные путевые и постоянные транзитные расходы. При этой замене потери напора в линиях сети, определенные по расчетным расходам, равны потерям, вычисленным по путевым и транзитным расходам.

Расчетный расход $Q_{\text{р}}$ участка, имеющего путевой расход $Q_{\text{п}}$ и транзитный $Q_{\text{тр}}$, может быть вычислен по формуле Дюпюи

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{тр}} + \alpha Q_{\text{п}},$$

где α — коэффициент, зависящий от соотношения транзитного и путевого расходов участка и изменяющийся от 0,5 до 0,58.

В практике расчета коэффициент α принимают равным 0,5. Тогда

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{тр}} + 0{,}5 Q_{\text{п}}.$$

Путевые расходы для удобства расчетов заменяют узловыми расходами. Пусть некоторый участок (рис. 3.4) имеет путевой расход $(Q_{\text{п}})_n$. Транзитный расход на предыдущем $(n-1)$-м участке равен сумме путевого и транзитного расходов данного n-го участка: $(Q_{\text{тр}})_{n-1} = (Q_{\text{тр}})_n + (Q_{\text{п}})_n$.

Те же расчетные расходы будут получены, если разбить путевой расход $(Q_{\text{п}})_n$ пополам и отнести $0{,}5(Q_{\text{п}})_n$ в начальную

и конечную точки рассматриваемого участка. При такой схеме отдачи расчетный расход $Q_р$ данного участка будет таким же:

$$(Q_р)_n = (Q_{тр})_n + 0{,}5(Q_п)_n.$$

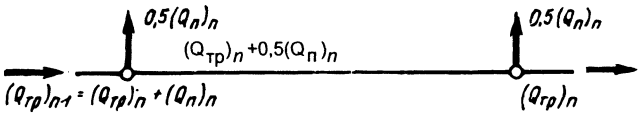


Рис. 3.4. Взаимосвязь между транзитным, путевым и узловыми расходами

Отбор воды в любом узле сети может быть определен по формуле $q = 0{,}5\Sigma Q_п$, т. е. сосредоточенный отбор в узле сети равен полусумме путевых расходов всех участков, примыкающих к данному узлу. При этом расчетные расходы участков равны их транзитным расходам. Последние определяют в соответствии с предварительным потокораспределением воды по линиям сети.

Следующим упрощением схемы отбора воды является отсутствие учета влияния на отбор давления в сети. В реальности всякое изменение давления в различных точках системы приводит к изменению отбора, а изменение расхода, в свою очередь, — к изменению давления. При расчетах водопроводных сетей эту зависимость для большинства потребителей не учитывают, т. е. принимают отборы в виде фиксированных значений. В значительной мере данное предположение оправдывается корректировкой расхода и давления самим потребителем. Если в системе повышается давление, то и из водопроводных кранов идет чрезвычайно сильная струя. В этом случае абонент прикрывает кран. При снижении давления, когда уменьшается расход, он открывает кран в большей мере.

В некоторых случаях нельзя не учитывать влияние давления в системе водоснабжения на отбор воды. Например, нежелательно пренебрегать его влиянием на отборы, которые осуществляются при свободном (нерегулируемом автоматически) изливе воды в регулирующие и запасные емкости городского водопровода и промышленных предприятий. Отборы воды из сети станциями подкачки, пожарными насосами также изменяются при изменении давления в сети.

Отборы воды, для которых при расчете сети необходимо учитывать влияние изменений давления в системе водоподачи и распределения, называются нефиксированными. Для них при

расчете системы подачи и распределения должна быть учтена функциональная связь расхода и давления.

Необходимо подчеркнуть особенности отдачи воды, связанные с утечками. Они наблюдаются в системах внутреннего водоснабжения из-за неудовлетворительной работы водоразборной арматуры. Утечки возрастают ночью, когда давление в сети повышается из-за снижения общего водопотребления. Они сильно влияют на коэффициент неравномерности водопотребления в течение суток в сторону его снижения.

3.3. Определение диаметров и потерь напора в сети и водоводах

Зная расход воды, протекающей по трубопроводу, выбирают его диаметр. Решение этой задачи связано с отысканием минимума приведенных затрат $P_{пр}$ на строительство $P_{ст}$ и эксплуатацию $P_{эк}$ за расчетный срок $T_{ок}$. Приведенные затраты

$$P_{пр} = P_{ст}/T_{ок} + P_{эк}.$$

Величина $P_{ст}$ определяется стоимостью труб, их транспортировки, разработки траншей, укладки и т. д. Эксплуатационные затраты $P_{эк}$ — сумма двух составляющих: стоимости электроэнергии $P_{эл}$, затрачиваемой на преодоление потерь напора в трубопроводе и подъем воды на заданную отметку, а также затрат $P_а$, представляющих суммарную стоимость работ по ремонту и отчислений на амортизацию. Величина $P_а$ принимается как процент R от стоимости $P_{ст}$, т. е. $RP_{ст}/100 = P_а$.

В этом случае

$$P_{пр} = P_{ст}/T_{ок} + P_{ст}R/100 + P_{эл} = P_{ст}\,(1/T_{ок} + R/100) + P_{эл}.$$

Выражение $Q = \omega v = \pi d^2 v/4$, (где ω — площадь поперечного сечения трубы; d — диаметр трубы; v — скорость движения воды) определяет взаимосвязь между диаметром трубопровода d и расходом воды Q.

Из этой формулы следует, что возрастание скорости приводит к уменьшению диаметра трубопровода и, наоборот, увеличение диаметра приведет к уменьшению скорости движения воды. То и другое оказывает влияние на приведенные затраты.

Потери напора в напорных трубопроводах определяют по формулам гидравлики:

$$h = \lambda v^2 l/(2gd);\ h = KQ^{\beta} l/d^m,$$

где λ и K — коэффициенты потерь напора ($K = 8\lambda/q\pi^2$); l — длина трубопровода; β и m — показатель степени при расходе и диаметре; g — ускорение свободного падения.

С возрастанием скорости движения воды в трубопроводе потери напора растут. Это приводит к увеличению требуемой мощности насосных агрегатов, подающих воду:

$$N = Q(H_0 + h)/(102\,\eta),$$

где H_0 — геометрическая высота подъема воды; η — КПД насосных агрегатов.

В результате растут затраты энергии на подъем воды $P_{эк}$. Одновременно с увеличением скорости v происходит уменьшение требуемого диаметра d труб для транспортирования расхода Q, а следовательно, уменьшается строительная стоимость трубопровода $P_{ст}$. Приведенная стоимость может быть представлена как в функции скорости v, так и в функции диаметра d. Характер изменения величины $P_{пр}$ и ее составляющих $P_{ст}(1/T_{ок} + R/100)$ и $P_{эк}$ в функции указанных величин приведен на рис. 3.5. Скорость и диаметр, отвечающие минимуму приведенных затрат, определяются наименьшими ординатами кривых $P_{пр}$.

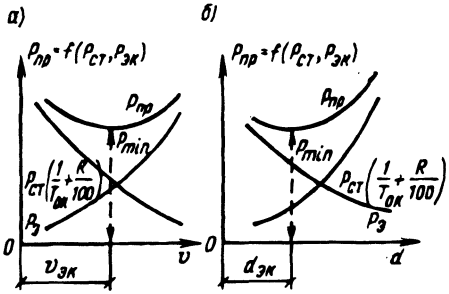


Рис. 3.5. Характер изменения приведенных затрат в функции скорости (*а*) и диаметра (*б*)

Экономически наивыгоднейшие диаметры водопроводной сети могут быть найдены аналитически для любых конфигураций сети и условий питания.

Рассмотрим схему водоснабжения, представленную на рис. 3.6. От насосной станции *1* водовод *2* подает воду в резервуар *3*, расположенный на возвышенности. Из резервуара *3* вода по водоводу *4* поступает в резервуар *5*, расположенный в конце магистрали. Существуют различия в работе левой и правой ветвей водовода. При подаче воды насосами, напор кото-

рых неизвестен, расчет сводится к определению диаметров труб, при которых затраты на строительство и эксплуатацию водопроводных линий и насосной станции будут минимальными за расчетный срок. Для правой ветви водовода, представляющей гравитационную (самотечную) напорную систему, располагаемый напор задан. Для этого случая задача технико-экономического расчета сводится к отысканию таких диаметров трубопровода, при которых строительная стоимость системы будет минимальна при условии полного расходования этого напора на преодоление гидравлических сопротивлений водовода.

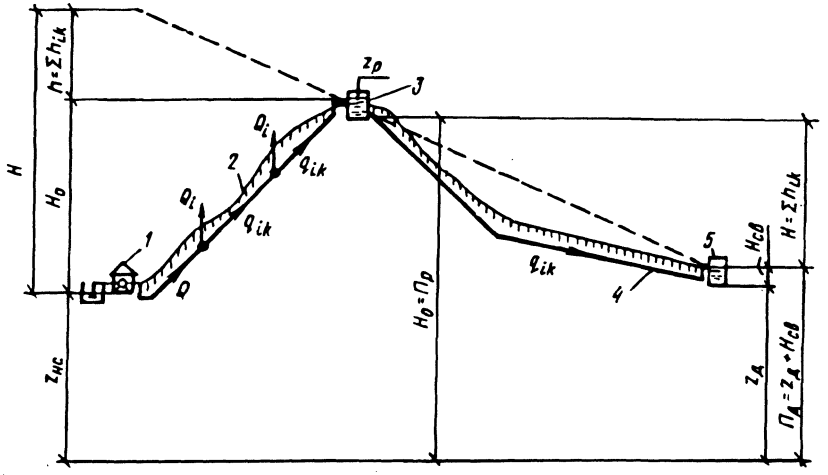


Рис. 3.6. Схема системы водоснабжения

Решим задачу по отысканию диаметров участков левой, нагнетательной ветви водовода. При движении воды происходит частичный ее отбор в ряде промежуточных точек. Для нахождения экономически выгодных диаметров необходимо составляющие функции приведенных затрат выразить через гидравлические и экономические зависимости. Тогда для указанной системы приведенные затраты $P_{пр}$ будут иметь следующий вид:

$$P_{пр} = (1/T_{ок} + R/100)\Sigma(a + bd_{ik}^{\alpha})l_{ik} + P\,(H_0 + \Sigma k q_{ik}^{\beta}/d_{ik}^{m} l_{ik})\; Q,$$

где R — ежегодные отчисления на амортизацию и ремонт в процентах строительной стоимости водовода; Σ — знак, определяющий полную стоимость строительства водовода; $a + bd_{ik}^{\alpha} = c$ — эмпирическая зависимость для определения единичной стоимости строительства водопроводной линии; d_{ik} и l_{ik} — диаметр

и длина отдельных участков водовода; $\Sigma k q_{ik}^{\beta}/d_{ik}^{m} l_{ik}$ — сумма потерь напора на участках водовода; q_{ik}^{β} — расход воды участка водовода; Q — полный расход, поступающий в водовод.

Величину P находят по формуле

$$P \approx 365 \cdot 24\sigma\gamma/(102\eta),$$

где σ — стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, потребляемой насосными агрегатами для подъема воды; γ — коэффициент неравномерности расходования энергии на подъем воды в течение расчетного периода; η — общий КПД насосной станции.

Первый член в выражении приведенных затрат определяет ежегодные отчисления от строительной стоимости водовода; второй — затраты на эксплуатацию, связанную с расходованием электроэнергии.

Для отыскания оптимальных значений d_{ik} каждого участка водовода необходимо функцию приведенных затрат $P_{\text{пр}}$ продифференцировать по d_{ik} и приравнять нулю. В результате получим

$$d_{ik} = Э^{1/(\alpha + m)} Q^{1/(\alpha + m)} q_{ik}^{\beta/(\alpha + m)}.$$

Здесь экономический фактор

$$Э = \frac{8760\sigma\gamma km}{102\eta\alpha b(1/T_{ok} + R/100)}$$

характеризует условия строительства и эксплуатации системы водоснабжения. Для водовода с одним узловым отбором в кольцевой точке:

$$q_{ik} = Q;\ d_{ik} = Э^{1/(\alpha + m)} Q^{(1 + \beta)/(\alpha + m)}.$$

В правой ветви (см. рис. 3.6) вода по трубопроводу транспортируется в результате разницы пьезометрических отметок уровня воды резервуара *3* ($П_{\text{р}} = H_{\text{р}}$) и резервуара *5* ($П_{\text{д}} = z + H_{\text{св}}$). Располагаемый напор H, который должен быть израсходован на преодоление гидравлических потерь Σh_{ik}, равен:

$$H = H_{\text{р}} - (H_{\text{св}} + z_{\text{д}}) = \Sigma h_{ik}.$$

При наличии нескольких узловых отборов, расположенных по длине водовода, соблюдение приведенного равенства возможно при сочетании на участках трубопроводов различных диаметров. Только одно из этих сочетаний отвечает минимуму строительной стоимости.

Экономически наивыгоднейший диаметр гравитационного водовода может быть найден по формуле

$$d_{ik} = \left(\frac{k}{H}\sum q_{ik}^{\alpha\beta/(\alpha+m)} l_{ik}\right)^{1/m} q_{ik}^{\beta/(\alpha+m)}.$$

Следует отметить, что при малых разностях пьезометрических отметок в начальной и конечной точках водовода перекачка по нему заданного расхода может привести к значительному увеличению диаметра и, следовательно, к увеличению строительной стоимости системы. В этом случае может оказаться рентабельным одновременное использование подкачки воды насосами.

Вычисленные экономически наивыгоднейшие диаметры, как правило, не соответствуют ближайшим стандартным диаметрам труб, выпускаемых промышленностью. При применении труб стандартных диаметров приведенные затраты тем больше, чем значительнее отклонение принятого сортаментного диаметра от оптимального.

Для возможности выбора наивыгоднейших стандартных диаметров необходимо найти значения «предельных» расходов, при которых приведенные затраты для труб ближайших сортаментов будут равноценны. Их находят путем сопоставления единичных приведенных затрат для двух труб смежных по сортаменту диаметров.

График для определения предельных расходов приведен на рис. 3.7. По оси ординат отложены отношения приведенных затрат $P_{\text{пр}}$ для труб стандартного диаметра к приведенным затратам $P_{\text{пр.опт}}$ для труб оптимального диаметра; по оси абсцисс — значения расхода Q. Каждому сортаментному диаметру d_1, d_2 и т. д. соответствует оптимальное значение $Q2_{\text{опт}}$, $Q3_{\text{опт}}$ и т. д.

$$q_{np} = q_{ik}(\Theta/\Theta_T)^{\frac{1}{1+\beta}} \approx q_{ik}\sqrt[3]{\Theta/\Theta_T},$$

где q_{ik} — расход воды, протекающей по участку; Θ — экономический фактор, определенный для конкретных условий строительства и эксплуатации; $\Theta_{\text{т}}$ — экономический фактор, принятый при составлении таблицы предельных расходов.

Для определения параметров работы системы подачи и распределения воды необходимо знать расходы воды, транспортируемой по трубопроводам, и соответствующие им потери

напора. Основной формулой, охватывающей случаи напорного и безнапорного движения в каналах и трубах, является следующая:

$$v = C\sqrt{Ri},$$

где C — коэффициент Шези; R — гидравлический радиус; i — гидравлический уклон.

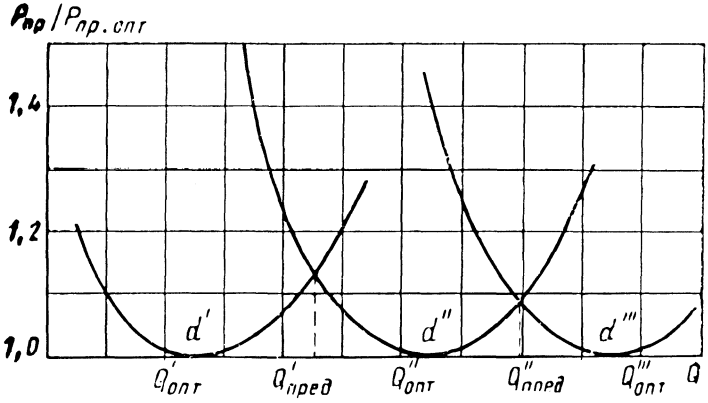


Рис. 3.7. График определения предельных расходов

Частным случаем этой формулы при напорном движении является формула Дарси—Вейсбаха, широко применяемая в инженерной гидравлике:

$$h_{ik} = \lambda \frac{l_{ik} v_{ik}^2}{d_{ik} 2g},$$

где h_{ik} — потери напора участка трубопровода; λ — коэффициент гидравлического сопротивления этого участка; l_{ik} и d_{ik} — длина и диаметр трубы участка; v_{ik} — скорость движения воды в трубе; g — ускорение свободного падения.

При расчете водопроводных систем удобнее использовать формулу, в которой скорость заменена расходом:

$$h_{ik} = k \frac{q_{ik}^2 l_{ik}}{d_{ik}^m},$$

где k — коэффициент; q_{ik} — расход воды на участке; m — показатель степени.

Коэффициенты λ, C и k, имеющие одинаковую природу, связаны соотношением

$$\lambda = g\,\pi^2 k/8 = 8g/C^2.$$

При ламинарном и турбулентном течении в гладких трубах и в гладкостенной области турбулентного течения в шероховатых трубах λ (k и C) зависит только от числа Рейнольдса, т. е. от скорости, диаметра и вязкости; в переходной области турбулентного течения — от числа Рейнольдса, шероховатости и диаметра; в квадратичной области — от диаметра и шероховатости.

Виды функциональной зависимости коэффициента гидравлического сопротивления λ от числа Рейнольдса, шероховатости и диаметра в различных областях турбулентного течения воды определяются различным соотношением толщины ламинарного слоя и величины выступов шероховатости стенок труб.

Влияние шероховатости внутренней поверхности труб на их гидравлическое сопротивление учитывается различными эмпирическими формулами. Их число весьма велико. При расчете систем водоснабжения широко используются формулы Ф.А. Шевелева, полученные на многочисленных экспериментах, проведенных во ВНИИ ВОДГЕО.

Учитывая, что потери напора h пропорциональны длине водопроводной линии, можно потери напора на единицу длины определять безразмерной величиной — гидравлическим уклоном $i_{ik} = h_{ik}/l_{ik}$.

Ф.А. Шевелевым предложены следующие формулы для определения единичных потерь напора в трубах:

неновых стальных и чугунных, работающих в квадратичной области при $v > 1{,}2$ м/с,

$$i_{ik} = (0{,}001735/d_{ik}^{5,3})q_{ik}^2;$$

неновых стальных и чугунных, работающих в переходной области при $v < 1{,}2$ м/с,

$$i_{ik} = 0{,}00148/d_{ik}^{5,3}(1 + 0{,}867/v_{ik})^{0,3}q_{ik}^2;$$

асбестоцементных

$$i_{ik} = 0{,}00091/d_{ik}^{5,19}(1 + 3{,}51/v_{ik})^{0,19}q_{ik}^2;$$

пластмассовых

$$i_{ik} = 0{,}0001052q_{ik}^{4,774}/d_{ik}^{4,774}.$$

Для новых металлических труб, работающих только в переходной области, существуют специальные расчетные формулы. Их использование возможно лишь при уверенности, что в процессе эксплуатации не будут образовываться отложения и наблюдаться внутренняя коррозия.

В связи с ухудшением качества воды в источниках водоснабжения и применением коагулянтов в действующих системах водоснабжения, выполненных из металлических труб, наблюдается интенсивное зарастание их внутренней поверхности. Это приводит к росту гидравлического сопротивления в несколько раз. Поэтому в процессе эксплуатации таких трубопроводов необходимо предусматривать мероприятия по сохранению и восстановлению пропускной способности трубопроводов. При экономической нецелесообразности или отсутствии технической возможности проведения указанных мероприятий допускается учитывать возможное возрастание сопротивления.

При определении гидравлического уклона железобетонных труб можно пользоваться зависимостями, полученными в ЛИИЖТе под руководством В.С. Дикаревского:

для виброгидропрессованных труб

$$i_{ik} = 0{,}001078 v_{ik}^{1,85}/d_{ik}^{1,19};$$

для центрифугированных труб

$$i_{ik} = 0{,}00095 v_{ik}^{1,85}/d_{ik}^{1,19}.$$

В практике расчетов широко применяют таблицы, графики и номограммы, которые составлены по приведенным выше формулам. Однако ряд задач делает очень неудобным использование этих формул в явном виде. Например, при выполнении расчетов по увязке водопроводной сети общая формула потерь напора может быть представлена в виде

$$h_{ik} = S_0 l_{ik} q_{ik}^2,$$

где $S_0 = k_{ik}/d_{ik}^m$.

Величина S_0 называется удельным гидравлическим сопротивлением. Гидравлическое сопротивление участка трубопровода $S_{ik} = S_0 l_{ik}$. Если трубы работают в неквадратичной области, то расход (или скорость) в формуле потерь напора имеет некоторую дробную степень, т. е.

$$h_{ik} = S_{ik} q_{ik}^{\beta} = (k_0 l_{ik}/d_i^m) q_{ik}^{\beta}.$$

Степень β находится в пределах 1,75–2. Если формулу потерь напора невозможно привести к указанному выше виду, то они вычисляются по квадратичной зависимости, после чего в значение потерь напора вводят поправочный коэффициент δ, зависящий от скорости:

$$h_{ik} = S_0 l_{ik} q_{ik}^2 = S_{ik} \delta q_{ik}^2.$$

Рядом авторов были предложены одночленные формулы вида

$$i_{ik} = k q_{ik}^{\beta} / d_{ik}^{m},$$

аппроксимирующие приведенные выше двучленные. Их применение облегчает проведение гидравлических и технико-экономических расчетов.

Таблица 3.1

Значения коэффициентов шероховатости труб

Материал трубы	*Коэффициент*
Бетон и железобетон	0,014
Асбестоцемент	0,012
Чугун	0,013
Сталь	0,012
Пластмасса	0,009
Дерево	0,010

Так, для неновых металлических труб при скоростях движения воды до 3 м/с, имеющих место на практике, М.М. Андрияшевым предложена формула

$$i_{ik} = 0{,}00179 q_{ik}^{1,9} / d_{ik}^{5,1}.$$

Для асбестоцементных труб Н.Н. Абрамовым получена формула

$$i_{ik} = 0{,}00118 q_{ik}^{1,85} / d_{ik}^{4,89}.$$

Для вычисления потерь напора при безнапорном движении необходимо определить значение коэффициента Шези (C). Он может быть вычислен по формуле Н.Н. Павловского

$$C = 1/n \; R^{y},$$

где n — коэффициент шероховатости труб, принимаемый по табл. 3.1; $R = \omega/\alpha e$ — гидравлический радиус, соответствующий

расчетному наполнению (здесь $\alpha e = \pi d\alpha/360$ — смоченный периметр при расчетном наполнении; α — центральный угол в трубе, соответствующий расчетному наполнению; $\omega = d/8(\pi\alpha/180 - \sin\alpha)$ — площадь живого сечения потока, соответствующая расчетному наполнению; y — показатель степени, определяемый по формуле $y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0{,}1)$.

3.4. Гидравлический расчет сети

3.4.1. Задачи гидравлического расчета водопроводных сетей

Целью расчета водопроводной сети является определение диаметров линий сети и потерь напора в них. В том случае, если известны диаметры, характеристики насосных станций, регулирующих емкостей и др., то в результате расчета определяются истинные расходы в линиях сети, действительные подачи воды всеми водопитателями и создаваемые ими напоры, а также давления во всех узлах сети и нефиксированные отборы.

Для сети, которая подлежит расчету, всегда заданы ее конфигурация, длины участков и узловые отборы воды. В основе гидравлического расчета водопроводных сетей находятся положения о том, что распределение воды по линиям сети происходит в соответствии с законами Кирхгофа. В соответствии с I законом Кирхгофа в каждом узле должен соблюдаться материальный баланс, отвечающий принципу сплошности потока. По условиям работы водопроводной сети это означает, что алгебраическая сумма расходов в любом узле сети

$$\Sigma q_{ik} - Q_i = 0. \tag{3.1}$$

По II закону Кирхгофа требуется выполнение условия суммарного нулевого изменения перепадов давления (разности потенциалов) в любом контуре системы. Для кольцевой сети это означает, что алгебраическая сумма потерь напора в любом контуре I сети

$$(\Sigma S_{ik} q_{ik}^{\beta})_I = 0, \tag{3.2}$$

где q_{ik} — расход по участкам водопроводной сети; Q_i — узловые отборы; S_{ik} — гидравлическое сопротивление линии.

Если имеются напорно-расходные характеристики водопитателей $F(Q)_M$ и нефиксированных отборов $F(Q)_K$, расположен-

ных в узлах системы M и K, то в дополнение к уравнению (3.2) имеются уравнения вида:

$$F(Q)_M - F(Q)_K = (\Sigma S_{ik} q_{ik})^{\beta}{}_{MK}. \qquad (3.3)$$

Взаимодействие между водопитателями и нефиксированными отборами осуществляется через потери напора $(\Sigma S_{ik} q_{ik}{}^{\beta})_{MK}$ в линиях сети, их соединяющих.

Распределение потоков в кольцевой сети, при котором соблюдаются указанные законы, соответствует минимуму энергии, расходуемой на преодоление потерь напора в трубах.

Прежде чем установить число уравнений I и II законов Кирхгофа, характеризующих потокораспределение в системе, рассмотрим свойства водопроводной сети. Рассматривая геометрические свойства кольцевой сети, можно установить определенную связь между числом ее элементов, т. е. числом колец, узлов и участков. Обозначив число колец через n, число узлов через m, число участков через p и число водопитателей и нефиксированных отборов через e, можно установить следующую зависимость:

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

Это положение является следствием теоремы Эйлера о соотношении между числом граней, вершин и ребер выпуклого многогранника. Оно позволяет установить соотношение между числом уровней I и II законов Кирхгофа при расчете водопроводных сетей и числом неизвестных.

В случае если диаметры линий сети известны, можно однозначно определить расходы в линиях сети. Искомые расходы q_{ik} (число p) находятся из совместного решения системы $p = m + n + e - 1$ уравнений I и II законов Кирхгофа, из которых $n + e$ — нелинейных уравнений типа (3.2) и (3.3) и $m - 1$ — линейных уравнений типа (3.1). Если характеристик водопитателей и нефиксированных отборов нет, то уравнение (3.3) отсутствует, а общее число уравнений определяется соотношением $p = m + n - 1$.

Для разветвленных сетей, не имеющих колец, число уравнений определяется соотношением $p = m + e - 1$. При отсутствии характеристик водопитателей и нефиксированных отборов их число уменьшается до $m - 1$.

При отыскании потокораспределения соблюдение линейных уравнений (3.1) достигается на стадии предварительного потокораспределения. Обеспечение требований уравнений (3.2)

и (3.3) достигается поиском соответствующего им распределения расходов по линиям сети. Этот поиск носит название гидравлической увязки. Если в процессе увязки характеристики водопитателей и нефиксированных отборов не учитываются, то она называется внутренней, если учитываются — внешней.

В общем случае, рассматривая уравнения II закона Кирхгофа, становится ясно, что помимо неизвестных q_{ik}, подлежащих отысканию, в них входят также неизвестные диаметры линий d_{ik}. Это вызвано тем, что значения S_{ik}, входящие в формулу потерь напора, выражаются в функции диаметров. Таким образом, любое изменение диаметров линий сети будет приводить к перераспределению расходов, протекающих по ним. С другой стороны, перераспределение расходов приводит к новым диаметрам.

В этой ситуации сталкиваемся (как уже указывалось выше) с задачей технико-экономического расчета. В результате этого расчета отысканию подлежат $2p$ неизвестных: p значений q_{ik} и столько же значений d_{ik}. Для одновременного нахождения всех $2p$ неизвестных уравнений (3.2) и (3.3) недостаточно.

Не обращаясь на данном этапе к методам полного технико-экономического расчета, можно сделать вывод, что гидравлический расчет сетей следует вести, задаваясь диаметрами. Как было видно выше, выбор диаметров отдельных участков сети не может быть произведен совершенно произвольно, так как диаметр в известной степени есть функция проводимого трубой расхода. Поэтому для сколько-нибудь точного выбора диаметров необходимо назначать предварительное потокораспределение.

3.4.2. Первоначальное потокораспределение воды в кольцевых сетях

В отличие от разветвленных сетей, где возможно единственное потокораспределение, отвечающее I закону Кирхгофа, в кольцевых сетях возможных вариантов — бесчисленное множество. Попытка решить задачу по отысканию наивыгоднейшего потокораспределения, используя лишь критерий экономичности, приводит к превращению кольцевой сети в разветвленную. Однако первоначальное назначение потокораспределения в кольцевой сети является одним из основных этапов ее расчета, так как без знания расходов по линиям сети невозможно назначить их диаметры.

Из всего многообразия возможных вариантов распределения расходов должен быть выбран тот, который позволяет обеспе-

чить подачу заданных количеств воды ко всем потребителям, а также требуемые нормы снабжения водой потребителей при возможных авариях на сети. Принятое решение о потокораспределении весьма важно, так как расходы, соответствующие ему, принимаются как исходные данные при технико-экономическом расчете экономически выгодных диаметров. При дальнейших расчетах и гидравлической увязке сети происходит корректировка в достаточно узком диапазоне расходов. В силу указанных причин решение о первоначальном потокораспределении является ответственной задачей. Начальное потокораспределение должно быть намечено одновременно для основных расчетных случаев работы сети для выявления роли отдельных ее участков и пределов нагрузок в них.

Как указывалось выше, вопрос нахождения наивыгоднейшей с экономической точки зрения трассировки сети для систем городского и промышленного водоснабжения не является чрезмерно актуальным. Это вызвано тем, что в значительной мере форма и трасса сети определяются планировкой города, поселка, промышленного предприятия. Известны различные предложения по назначению «наилучшего» потокораспределения. Однако большинство из них нельзя признать удовлетворительными.

С практической точки зрения наиболее простой путь назначения первоначального потокораспределения — это нахождение такого из них, которое удовлетворит нормативным требованиям надежности, учитывающимся при начальном потокораспределении. Однако их учет на стадии назначения потокораспределения может быть проведен приближенно и требует уточнения, когда диаметры уже назначены.

Обычно принимают следующий порядок назначения начального потокораспределения в сети. На первом этапе приближенно назначают диктующие точки сети, которые располагаются в конце сети на наиболее удаленных и высоких отметках с наибольшими узловыми отборами. Затем намечают основные параллельные пути снабжения от источника питания до диктующих точек. Эти направления можно назвать транзитными. Они, как правило, имеют более короткое направление, чем конкурентные им. После этого намечают расходы воды по основным путям. По возможности основные пути снабжения водой потребителей должны иметь одинаковую проводимость. Из гидравлики известно, что проводимость $П$ имеет следующую связь с сопротивлением линии: $S \rightarrow П = 1/\sqrt{S}$. При этом соблюдение материально-

го баланса в узлах может быть приближенным. Диаметры перемычек, соединяющих транзитные (магистральные) линии между собой, назначают исходя из предполагаемой нагрузки, которую они могут иметь в случае аварии на некоторых магистральных линиях. В общем виде назначать потокораспределение следует с учетом надежностных характеристик отдельных участков сети, которые зависят от большого числа факторов. Сбор этих показателей представляет весьма сложную задачу.

После проведения всех перечисленных операций определяют диаметры участков сети на основе технико-экономических расчетов, которые с некоторой степенью приближения можно принять удовлетворяющими требованиям надежности. Для проверки выполнения условий надежности необходимо проведение поверочных гидравлических и надежностных расчетов при уже известных диаметрах.

3.4.3. Теоретические основы и практические методы внутренней увязки кольцевых сетей

Назначив потокораспределение в линиях сети и выбрав диаметры этих линий, приступают к гидравлической увязке. Обычно с первой попытки найти истинное распределение расходов и потерь напора, соответствующее I и II законам Кирхгофа, не представляется возможным. Для его нахождения необходимо решить систему $(m - 1)$ линейных уравнений I закона Кирхгофа (уравнений баланса расходов в узлах) и n нелинейных уравнений II закона Кирхгофа (уравнений, определяющих равенство нулю потерь напора по независимым контурам).

Увязку кольцевых сетей можно осуществлять по двум принципам в зависимости от того, что принимать за основные неизвестные — расходы или напоры (потери напора). При этом нахождение одной группы неизвестных позволяет единственно возможным образом найти другую группу неизвестных.

Метод, с помощью которого за главные неизвестные принимаются напоры (потери напора), известен как метод «уравнивания расходов». Во втором методе ищутся неизвестные расходы участков q_{ik}. При истинных значениях расходов удовлетворяются уравнения II закона Кирхгофа. Этот метод носит название метода «уравнивания напоров».

Для использования обоих методов увязки необходимо принимать начальные значения неизвестных. При пользовании методом уравнивания напоров необходимо задаваться некоторы-

ми начальными значениями расходов воды в участках сети. Это в наибольшей степени соответствует обычной практической постановке расчета. Эта и другие причины приводят к более широкому использованию в отечественной практике метода уравнивания напоров. Он и будет рассматриваться далее.

Если в кольцевой сети имеется n независимых контуров, то система нелинейных уравнений для них может быть представлена в виде:

$$\left.\begin{aligned} &F_1(q_1,q_2,q_3,\ldots,q_p)\\ &F_2(q_1,q_2,q_3,\ldots,q_p)\\ &\ldots\\ &F_n(q_1,q_2,q_3,\ldots,q_p) \end{aligned}\right\}.$$

Все функции F имеют одинаковый вид: $\Sigma S_{ik}\ q_{ik}^{\beta}$. Система этих уравнений в целом охватывает все участки сети. Однако число уравнений этой системы n меньше числа искомых расходов участков p. Поэтому систему этих уравнений следует рассматривать совместно с системой $m - 1$ линейных уравнений

$$\Sigma q_{ik} + Q_i = 0.$$

Для решения системы нелинейных уравнений широко используют метод Ньютона и его модификации. Путь решений нелинейных уравнений следующий:

1. Предварительно принимают некоторые значения неизвестных расходов q_{ik}^0, которые предполагают достаточно близкими к истинным.

2. В качестве расходов q_{ik}^0 принимают расходы, полученные при предварительном распределении с соблюдением I закона Кирхгофа.

3. К предварительно намеченным расходам на участках q_{ik}^0 прибавляют (неизвестные) поправки Δq_1, полагая, что $q_{ik}^0 + \Delta q_1$ должны равняться искомым (истинным) значениям расходов q_{ik}, удовлетворяющим нелинейной системе уравнений. Тогда система нелинейных уравнений примет вид:

$$\begin{aligned} F_1(q_1^0 + \bar{\Delta} q_1;\ q_2^0 + \bar{\Delta} q_2;\ldots;\ q_p^0 + \bar{\Delta} q_p) &= 0;\\ F_2(q_1^0 + \bar{\Delta} q_1;\ q_2^0 + \bar{\Delta} q_2;\ldots;\ q_p^0 + \bar{\Delta} q_p) &= 0;\\ F_n(q_1^0 + \bar{\Delta} q_1;\ q_2^0 + \bar{\Delta} q_2;\ldots;\ q_p^0 + \bar{\Delta} q_p) &= 0. \end{aligned}$$

Здесь неизвестными будут уже не расходы q_{ik}, а поправки к расходам $\bar{\Delta} q_{ik}$.

4. Разложив левую часть уравнений в ряд Тейлора в окрестности точки q_{ik} и ограничившись линейными членами разложения, получим:

$$F_1(q_1^0,q_2^0,...,q_p^0)_1 + (\partial F_1/\partial q_1 \bar{\Delta} q_1 + \partial F_1/\partial q_2 \bar{\Delta} q_2 + ... + \partial F_1/\partial p_p \bar{\Delta} q_p) = 0;$$

$$F_2(q_1^0,q_2^0,...,q_p^0)_2 + (\partial F_2/\partial q_1 \bar{\Delta} q_1 + \partial F_2/\partial q_2 \bar{\Delta} q_2 + ... + \partial F_2/\partial p_p \bar{\Delta} q_p) = 0;$$

$$F_n(q_1^0,q_2^0,...,q_p^0)_n + (\partial F_2/\partial q_1 \bar{\Delta} q_1 + \partial F_n/\partial q_2 \bar{\Delta} q_2 + ... + \partial F_n/\partial p_p \bar{\Delta} q_p) = 0;$$

При этом подразумевают, что в полученные выражения производных подставляются первоначально принятые значения неизвестных q_{ik}^0. Полученная система является системой линейных уравнений относительно поправок $\bar{\Delta} q_{ik}^0$ к предварительно принятым значениям расходов q_{ik}^0.

В этих уравнениях отброшены все члены разложения, кроме линейных. Поэтому для нахождения значений q_{ik} требуется проведение ряда подобных расчетов. При проведении каждого из них в качестве предварительных принимаются расходы, полученные из предыдущего расчета. Таким образом, полученная система линейных уравнений решается методом последовательного приближения.

Наиболее широко применяется в практике аналитический метод, предложенный В.Г. Лобачевым и независимо от него — Х. Кроссом. Он предусматривает выражение поправок к расходам на участках сети через контурные поправочные расходы Δq_1 в отдельных кольцах. При этом в процессе увязки сети автоматически обеспечивается соблюдение I закона Кирхгофа. Сущность этого метода заключается в следующем. Пусть в некоторой сети (рис. 3.8) после предварительного распределения расходов q_{ik} по ее участкам, определения диаметров и гидравлических сопротивлений вычислены потери напора $h_{ik} = S_{ik}q_{ik}^2$ для всех участков сети. Условно принимается квадратичный закон сопротивления. Истинное распределение расходов характеризуется равенством $(\Sigma h_{ik})_I = 0$ для каждого из колец сети. При этом потерям напора на участках с движением расходов по часовой стрелке (относительно рассматриваемого кольца) присваивается знак плюс, с движением против часовой стрелки — знак минус.

Допустим, что после первоначального распределения расходов величина $(\Sigma h_{ik})_I$ в отдельных кольцах не равна нулю; пред-

положим, что во всех кольцах их верхние и правые участки (с положительными h_{ik}) оказались перегруженными, а левые и нижние — недогруженными. Тогда алгебраическая сумма потерь напора в кольцах будет равна не нулю, а некоторой величине Δh_1, т. е. $(\Sigma h_{ik})_I = \Delta h_1$.

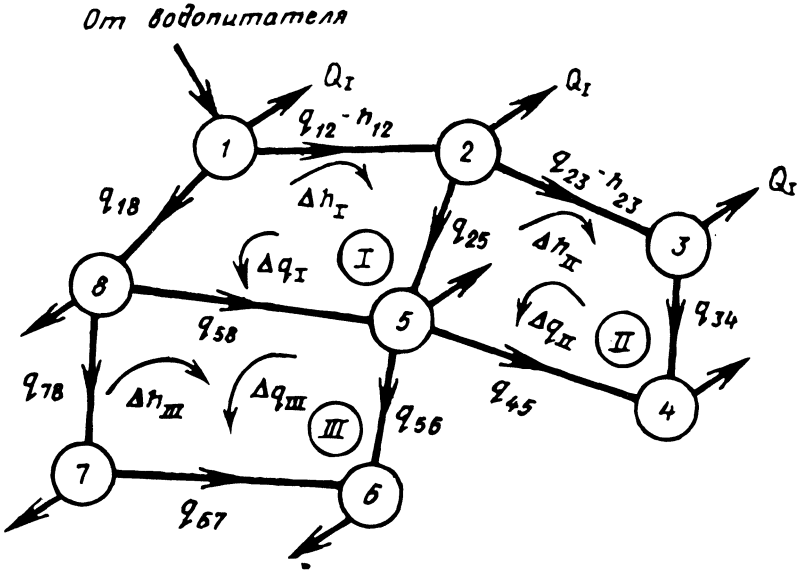


Рис. 3.8. Расчетная схема кольцевой сети

Для сети, схема которой представлена на рис. 3.8, получим следующую систему уравнений:

$$S_{12}q^2_{12} + S_{25}q^2_{25} - S_{58}q^2_{58} - S_{18}q^2_{18} = \Delta h_I;$$
$$S_{23}q^2_{23} + S_{34}q^2_{34} - S_{45}q^2_{45} - S_{25}q^2_{25} = \Delta h_{II};$$
$$S_{58}q^2_{58} + S_{56}q^2_{56} - S_{67}\,q^2_{67} - S_{78}q^2_{78} = \Delta h_{III}.$$

Величина Δh_I представляет собой невязку потерь напора в кольце I; эта величина и ее знак характеризуют степень отклонения принятого в кольце распределения расходов от истинного (искомого).

Для снижения невязки необходимо уменьшить расходы на перегруженных ветвях каждого кольца и увеличить их на недогруженных, соблюдая при этом баланс расходов в узлах $\Sigma q_{ik} + Q_i = 0$. Это может быть достигнуто путем переброски некоторых контурных расходов Δq_1 по всем кольцам в направлении, обратном знаку невязки. После переброски таких расходов (пока неизвестных) получим следующую систему уравнений:

$$S_{12}(q_{12} - \Delta q_I)^2 + S_{25}(q_{25} - \Delta q_I + \Delta q_{II})^2 - S_{58}(q_{58} + \Delta q_I - \Delta q_{III})^2 - S_{18}(q_{18} + \Delta q_I)^2 = 0;$$

$$S_{23}(q_{23} - \Delta q_{II})^2 - S_{34}(q_{34} - \Delta q_{II})^2 - S_{45}(q_{45} + \Delta q_{III})^2 - S_{25}(q_{25} - \Delta q_I + \Delta q_{II})^2 = 0;$$

$$S_{58}(q_{58} + \Delta q_I - \Delta q_{III})^2 + S_{56}(q_{56} - \Delta q_{III})^2 - S_{67}(q_{67} + \Delta q_{III})^2 - S_{78}(q_{78} - \Delta q_{III})^2 = 0.$$

Раскрыв скобки и выполнив некоторые преобразования, имеем для первого кольца уравнение

$$[S_{12}q^2_{12} + S_{25}q^2_{25} - S_{58}q^2_{58} - S_{18}q^2_{18}] - 2[S_{12}q_{12} + S_{25}q_{25} + S_{58}q_{58} + S_{18}q_{18}]\Delta q_I + 2S_{25}q_{25}\Delta q_{II} + 2S_{58}\Delta q_{III} = 0.$$

Первый член этого уравнения, заключенный в квадратные скобки, представляет собой невязку в кольце I при первоначально принятых расходах, т. е. Δh_I. Коэффициент при неизвестном расходе Δq_I во втором члене равен $2\Sigma S_q$ в кольце I; последние два члена представляют собой неизвестные поправочные расходы смежных колец Δq_{II} и Δq_{III} с коэффициентами, равными $2S_q$ общих участков кольца I со смежными кольцами.

Приведенные выше уравнения могут быть представлены следующим образом:

$$\Delta h_I - 2\Sigma(Sq)_I \Delta q_I + 2\,(Sq)_{25}\,\Delta q_{II} + 2\,(Sq)_{58}\,\Delta q_{III} = 0;$$
$$\Delta h_{II} - 2\Sigma(Sq)_{II}\,\Delta q_{II} + 2\,(Sq)_{25}\,\Delta q_I = 0;$$
$$\Delta h_{III} - 2\Sigma(Sq)_{III}\,\Delta q_{III} + 2\,(Sq)_{58}\,\Delta q_I = 0.$$

Получим систему линейных уравнений относительно неизвестных Δq_I, Δq_{II} и Δq_{III}. Величины Δh_I — свободные члены, известные после первого распределения расходов. Эту систему линейных уравнений можно решать любым из существующих способов. Метод Лобачева — Кросса предусматривает предельное упрощение приведенной системы уравнений путем исключения из каждого уравнения членов, содержащих Δq_I смежных колец. Тогда для всех колец получаются однотипные равенства вида $\Sigma(S_{ik}q_{ik})_I\Delta q_I = \Delta h_I$. Отсюда вытекает общая формула для приближенного определения искомых неизвестных поправочных расходов

$$\Delta q_I = \Delta h_I/2\Sigma(S_{ik}q_{ik})_I.$$

При использовании этой формулы упрощается операция вычисления Δq_I в каждом приближении, но требуется увеличение

числа последовательных приближений (итераций) для нахождения значений Δq_l, достаточно близких к истинным (дающим увязку сети).

При работе труб в неквадратичной области для определения поправочных расходов может использоваться та же формула, но при условии, что в величины S_{ik} участков введены коэффициенты δ. Поправочные расходы могут определяться по формуле

$$\Delta q_l = \Delta h_l / \beta \Sigma S_{ik} q_{ik}^{\beta-1},$$

если потери напора определяли непосредственно по неквадратичной формуле вида

$$h_{ik} = S_{ik} q_{ik}^{\beta}.$$

Существуют различные модификации метода Лобачева — Кросса. Метод широко используется при составлении программ расчета водопроводных сетей.

Задача увязки сети может быть решена и другими методами последовательного приближения. Широко распространен метод, предложенный М.М. Андрияшевым. Автор метода рекомендует после первого определения невязок осуществлять выбор системы контуров (охватывающих одно кольцо или группу элементарных колец), по которым можно провести поправочные расходы для получения значительного снижения невязок в сети. Под элементарным кольцом понимается кольцо, в котором не имеется участков, пересекающих его площадь, и которое не делится на более мелкие кольца. Эти расходы могут проводиться как одновременно по нескольким выбранным контурам, так и последовательно с учетом результатов предыдущих операций. Результаты всех вычислений записывают непосредственно на схемах сети. После каждого цикла проведения поправочных расходов анализируют полученные результаты (значения и знак невязок), намечают следующую группу контуров увязки и определяют новые поправочные расходы. Для более успешной и быстрой увязки автор метода рекомендует:

- объединение смежных колец с невязками одинакового знака в укрупненные контуры, по которым надо проводить поправочные расходы;
- последовательную увязку колец или группы колец (с невязками попеременно то одного, то другого знака) циклами;

- увязку в каждом цикле кольца или группы колец с невязками наибольшего значения.

Поправочные расходы по выбранному контуру I можно определять по формуле вида

$$\Delta q_I = \Delta h_I / \Sigma(S_{ik} q_{ik})_I.$$

Использование этой формулы связано с большим числом вычислений. Так как в процессе увязки величина $\Sigma(S_{ik} q_{ik})_I$ по контурам меняется относительно мало, автор метода считает, что поправочные расходы при последовательно проводимых увязках изменяются пропорционально невязкам. Если принять, что величина $\Sigma(S_{ik} q_{ik})_I$ постоянна и обозначить поправочный расход пробной увязки через Δq_0, а соответствующее изменение невязки — через Δh_0, то получим

$$\Delta q_I / \Delta h_I = 1/2\ \Sigma(S_{ik} q_{ik})_I = \text{const} = \Delta q_0 / \Delta h_0;$$

$$\Delta q_I = \Delta h_I \Delta q_0 / \Delta h_0.$$

Для контуров, имеющих малоразличающиеся длины и диаметры отдельных участков, М.М. Андрияшев предлагает определять поправочные расходы по приближенной формуле

$$\Delta q_I = q_{\text{ср}I} \Delta h_I / 2(\Sigma h_{Ik})_I,$$

где $q_{\text{ср}I}$ — средний расход для всех входящих в контур участков; Δh_I — невязки в контуре; $(\Sigma h_{ik})_I$ — сумма абсолютных значений потерь напора в контуре.

Применение приемов увязки сети, рекомендованных В.Г. Лобачевым и М.М. Андрияшевым, можно освоить на примере расчета сети городского водопровода при выполнении курсового проекта.

Как указывалось выше, все элементы систем подачи и распределения воды представляют единую гидравлическую систему. Поэтому после назначения параметров насосных станций, регулирующих емкостей, нефиксированных отборов и диаметров линий сети необходимо провести поверочные расчеты при различных режимах водопотребления и работы элементов системы. Они позволяют узнать, как будет работать система, т. е. определить фактические подачи и напор насосных станций, пополнение и сработку регулирующих емкостей, фактические отборы и напоры в узлах сети и т. д. Эти поверочные расчеты носят название внешней увязки. Их проведение без использования вычислительной техники нереально.

3.5. Напоры в системах водоснабжения

Результаты расчета водопроводных сетей для различных режимов водопотребления используют для параметров водонапорной башни и насосных агрегатов, обеспечивающих работоспособность системы, а также свободных напоров во всех узлах сети.

Для определения напора в точках питания (у водонапорной башни, на насосной станции) необходимо знать требуемые напоры потребителей воды. Минимальный свободный напор в сети водопровода населенного пункта при максимальном хозяйственно-питьевом водоразборе на вводе в здание над поверхностью земли при одноэтажной застройке должен быть не менее 10 м, при большей этажности на каждый этаж необходимо добавлять 4 м. В часы наименьшего водопотребления напор для каждого этажа, начиная со второго, допускается принимать 3 м. Для отдельных многоэтажных зданий, а также групп зданий, расположенных в повышенных местах, предусматривают местные установки подкачки. Свободный напор у водоразборных колонок должен быть не менее 10 м.

В наружной сети производственных водопроводов свободный напор принимают по техническим характеристикам оборудования. Свободный напор в сети хозяйственно-питьевого водопровода у потребителя не должен превышать 60 м, в противном случае для отдельных районов или зданий предусматривают установку регуляторов давления или зонирование системы водоснабжения.

При работе водопровода во всех точках сети должен быть обеспечен свободный напор не менее нормативного.

Свободные напоры в любой точке сети определяют как разность отметок пьезометрических линий и поверхности земли. Пьезометрические отметки для всех расчетных случаев (при хозяйственно-питьевом водопотреблении, при пожаре и др.) вычисляют исходя из обеспечения нормативного свободного напора в диктующей точке.

При определении пьезометрических отметок задаются положением диктующей точки, т. е. точки, имеющей минимальный свободный напор. Обычно диктующая точка расположена в наиболее неблагоприятных условиях как в отношении геодезических отметок (высокие геодезические отметки), так и в отношении удаленности от источника питания (т. е. сумма потерь напора от источника питания до диктующей точки будет наибольшая). В диктующей точке задаются напором, равным нормативному.

Если в какой-либо точке сети напор окажется меньше нормативного, то положение диктующей точки задано неверно. В этом случае находят точку, имеющую наименьший свободный напор, и ее принимают за диктующую, а расчет напоров в сети повторяют.

Расчет системы водоснабжения на работу во время пожара производят в предположении его возникновения в наиболее высоких и удаленных от источников питания точках территории, обслуживаемой водопроводом. По способу тушения пожара водопроводы бывают высокого и низкого давления.

Как правило, при проектировании систем водоснабжения следует принимать противопожарный водопровод низкого давления, за исключением небольших населенных пунктов (менее 5 тыс. человек). Устройство противопожарного водопровода высокого давления должно быть экономически обосновано.

В водопроводах низкого давления повышение напора производится лишь на время тушения пожара. Необходимое повышение напора создается передвижными пожарными насосами, которые подвозятся к месту пожара и забирают воду из водопроводной сети через уличные гидранты. Согласно СНиП 2.04.02-84* напор в любой точке сети противопожарного водопровода низкого давления на уровне поверхности земли при пожаротушении должен быть не менее 10 м. Такой напор необходим для предотвращения возможности образования в сети при отборе воды пожарными насосами вакуума, что, в свою очередь, может вызывать проникновение в сеть через неплотности стыков почвенной воды. Кроме того, некоторый запас давления в сети требуется для работы пожарных автонасосов с целью преодоления значительных сопротивлений во всасывающих линиях насосов.

Система пожаротушения высокого давления (обычно принимается на промышленных объектах) предусматривает подачу к месту пожара установленного нормами пожарного расхода воды и повышение давления в водопроводной сети до величины, достаточной для создания пожарных струй непосредственно от гидрантов. Свободный напор в этом случае должен обеспечивать высоту компактной струи не менее 10 м при полном пожарном расходе воды и расположении ствола брандспойта на уровне наивысшей точки самого высокого здания и подаче воды по пожарным рукавам длиной 120 м:

$$H_{\text{св}}^{\text{пож}} = H_{\text{зд}} + 10 + \Sigma h \approx H_{\text{зд}} + 28 \text{ (м)},$$

где $H_{\text{зд}}$ — высота здания; h — потери напора в рукаве и стволе брандспойта.

В водопроводе высокого давления стационарные пожарные насосы оборудуют автоматикой, обеспечивающей пуск насосов не позднее чем через 5 мин после подачи сигнала о возникновении пожара. Трубы сети должны быть выбраны с учетом повышения давления при пожаре.

Максимальный свободный напор в сети объединенного водопровода не должен превышать 60 м.

Высоту водонапорной башни и напор насосов для различных режимов водопотребления определяют по формулам, приведенным в разд. 2.4.

3.6. Устройство и оборудование водопроводных сетей

3.6.1. Общие требования к материалу труб. Типы труб и их выбор

Выбор материала труб представляет ответственную задачу, так как их стоимость в огромной мере определяет затраты по всей системе водоснабжения в целом.

К трубопроводам предъявляют ряд требований. Строящиеся в настоящее время сети и водоводы характеризуются значительными объемами и трудоемкостью строительных и монтажных работ, а также сложностью инженерных решений. Поэтому необходима дальнейшая индустриализация строительных и монтажных работ, предусматривающая использование сборных конструкций, изготавливаемых на заводах и монтируемых на строительных площадках. В наибольшей мере этим требованиям отвечают трубы заводского изготовления, обеспечивающие легкость, быстроту и надежность монтажа стыковых соединений и узлов.

В системах водоснабжения должны применяться трубы, материалы которых безвредны для здоровья человека. Трубы должны обладать высокими антикоррозионными свойствами по отношению к воздействию транспортируемой воды, подземных вод, грунта, блуждающих токов и т. п. Правильный выбор материала и покрытия труб применительно к конкретным условиям строительства и эксплуатации позволяет значительно увеличить срок их службы и снизить эксплуатационные расходы.

Шероховатость внутренней поверхности труб влияет на затраты энергии по транспортированию воды. Поэтому внутренняя поверхность должна быть гладкой и не изменяться в про-

цессе эксплуатации. Это зависит от применяемого материала, технологии изготовления, качества транспортируемой воды, вида внутреннего покрытия.

Надежность работы трубопровода во многом определяется правильным выбором прочностных характеристик и их соответствием внешним и внутренним нагрузкам, воздействующим на трубопровод. Кроме того, трубы и их соединения должны оставаться герметичными в процессе всего периода эксплуатации. От этого зависят экономичность и надежность системы подачи и распределения воды, а также ее санитарное состояние.

Для строительства напорных водоводов и сетей применяют стальные, чугунные, асбестоцементные, пластмассовые, железобетонные и другие трубы, для безнапорных — бетонные трубы, а также открытые каналы из бетона, железобетона или земляные с одеждой дна и откосов различного типа.

Чугунные трубы для напорных водоводов и сетей применяют двух типов: трубы, изготавливаемые из серого чугуна методами центробежного и полунепрерывного литья диаметром 65–1000 мм с раструбными стыковыми соединениями, и трубы, изготавливаемые диаметрами 100–300 мм со стыковыми соединениями под резиновые манжеты. Трубы диаметром 65–300 мм выпускают длиной 2–6 м, а диаметром 400 мм и более — длиной 5–10 м. ГОСТы предусматривают выпуск труб трех классов — ЛА, А и Б, отличающихся друг от друга толщиной стенок и, следовательно, выдерживающих различное давление.

Для соединения труб в первом случае используют смесь асбеста, цемента и воды. В качестве набивки применяют просмоленную или битуминизированную пеньковую прядь. Конструкция соединений этих труб показана на рис. 3.9. При соединении цилиндрический конец труб *1* вводят в раструб *2* уложенной трубы так, чтобы зазор между гладким концом и упорной поверхностью раструба составлял 5–10 мм в зависимости от диаметра труб. До начала заделки стыков трубы центруют. Затем раструбную щель уплотняют пеньковой прядью *3* для обеспечения водонепроницаемости стыкового соединения.

Для удержания пряди от выдавливания гидравлическим давлением устраивают асбестоцементный замок *4*. При необходимости защиты асбестоцемента от агрессивного воздействия грунта и подземных вод раструбную щель на глубину 2–3 мм заполняют изоляцией *5*, состоящей из грунтовой краски и мастики. Внутреннее испытательное и рабочее давление смонтированного трубопровода назначают в зависимости от класса

труб и внешних нагрузок. Они не должны быть выше соответственно 1,5 и 1 МПа. При глубине заложения до 4 м и диаметре трубопровода до 300 мм, как правило, укладывают трубы класса ЛА. При выполнении соединения труб указанным способом, несмотря на его простоту и длительность применения, не обеспечивается равнопрочность стыкового соединения с основным материалом труб, требуются большие затраты времени, не полностью используются прочностные характеристики самих труб; кроме того, этот способ не механизирован.

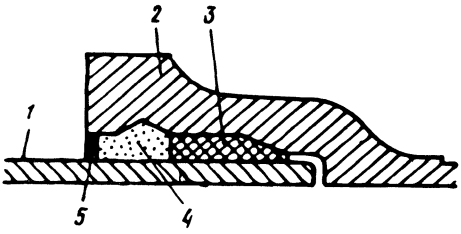


Рис. 3.9. Раструбное соединение чугунных труб с уплотнениями пеньковой прядью

Стыковые соединения на резиновых уплотнителях гибкие, обеспечивают равнопрочность с трубой, герметичность трубопровода при осевом смещении до 15 мм и угловой деформации до 3–4 град. Монтаж стыковых соединений механизирован, вследствие чего сокращается трудоемкость и гарантируется высокое качество работ.

Ввиду равнопрочности стыкового соединения с трубой максимальные значения испытательных и рабочих давлений могут быть более высокими по сравнению с их значениями для труб со стыковыми соединениями под зачеканку. Эти давления соответственно равны 1,75–2,8 и 0,95–2 МПа в зависимости от класса труб. Конструкция этого стыкового соединения приведена на рис. 3.10. В раструбе трубы *2* имеется внутренний кольцевой паз, в который закладывается гребень резиновой манжеты *3*. Герметизация стыка обеспечивается за счет обжатия средней части манжеты при монтаже и самоуплотнения манжеты при гидравлическом давлении. Манжеты изготавливают из резины, не содержащей вредных веществ, влияющих на вкус, цвет и запах воды. Монтаж труб производят следующим образом. В кольцевой паз раструба вкладывают уплотнительную манжету. Наружный конец цилиндрической части *1* монтируемой трубы смазывают графитно-глицериновой смазкой. Затем

конец монтируемой трубы с помощью специального монтажного устройства вводят в раструб уложенной трубы.

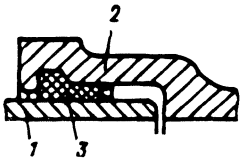


Рис. 3.10. Раструбное соединение чугунных труб на резиновых уплотнителях

Водопроводные сети из чугунных труб монтируют с использованием чугунных фасонных частей (по ГОСТ 5525-88) различной формы с раструбами и фланцами. Они позволяют изменять направление линий как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. С их помощью на водопроводных линиях устанавливают необходимую арматуру и устраивают ответвления. При отсутствии чугунных фасонных частей применяют нестандартные стальные сварные фасонные части.

Недостатком труб, выпускаемых из серого чугуна, является относительно плохое сопротивление их динамическим нагрузкам. Значительно большую область применения имеют высокопрочные трубы из чугуна с шаровидным графитом (ТУ 14-3-154-23-90), выдерживающие большие нагрузки и имеющие лучшие пластические свойства. Разрушение чугунных труб может приводить к осложнениям при ликвидации аварий и большим потерям воды. Кроме того, область применения этих труб ограничивается допустимыми внутренними давлениями. Чугунные трубы весьма металлоемки по сравнению со стальными.

Стальные трубы выпускают в широком диапазоне диаметров, толщин стенок, марок стали и различных классов точности. Они обладают высокой прочностью, относительно небольшой массой, пластичностью и применяются при индустриальном монтаже. Недостатками стальных труб являются подверженность коррозии и зарастанию, меньший срок службы по сравнению со сроком службы неметаллических труб, возрастание гидравлического сопротивления в процессе эксплуатации, если не предусматриваются соответствующие меры.

Из-за необходимости экономии металла применение стальных труб строго ограничивается. Для стальных наружных трубопроводов систем водоснабжения применяют сварные трубы диаметром до 1400 мм следующих видов:

прямошовные по ГОСТ 10704-91*, ГОСТ 10706-76* и ГОСТ 10705-80;

спирально-шовные по ГОСТ 8696-74*;

спирально-шовные тонкостенные по ТУ 102-39-84;

водогазопроводные по ГОСТ 3262-75*.

Применение бесшовных стальных труб целесообразно в случае, если расчетом на прочность установлена невозможность использования сварных труб.

Сварные трубы изготавливают из различных сталей, отличающихся химическим составом и механическими свойствами. Эти качества стали регламентируются следующими стандартами:

ГОСТ 380-88* — на углеродистую сталь обыкновенного качества, применяемую для изготовления прямошовных, спирально-шовных и водогазопроводных труб;

ГОСТ 19281-89 — на низколегированную высококачественную толстолистовую и широкополосную сталь, применяемую для изготовления прямошовных (ГОСТ 10706-76*) и спирально-шовных (ГОСТ 8696-74*) труб.

Наиболее широко применяются трубы из углеродистых сталей обыкновенного качества как наиболее дешевые и менее дефицитные. Трубы из низколегированных высококачественных сталей применяют при строительстве и эксплуатации трубопроводов в условиях низких температур, приблизительно 20 °С и ниже, а также при более высоких температурах, если обеспечивается экономия стали в результате использования труб с меньшими толщинами стенок, чем у труб из углеродистых сталей обыкновенного качества.

В соответствии с прочностными расчетами диаметры труб $d_{тр}$ в системах водоснабжения зависят от толщины стенки δ:

δ, мм	2,8–4	4–10	6–16
$d_{тр}$, мм.....	400	500–1000	>1000

Трубы выпускают различных групп с гарантией как всех, так и отдельных характеристик: механических свойств, химического состава, испытательного давления. Кроме того, трубы, имеющие одинаковые гарантированные механические характеристики, могут быть изготовлены из сталей, полученных различными способами.

Выбор марки стали производят по нормируемым стандартами показателям стали и механическим свойствам, а при их отсутствии — по значению гарантируемого испытательного гидравлического давления трубы.

Трубы из углеродистой обыкновенного качества кипящей стали (КП) характеризуются хладноломкостью, в связи с чем их не следует применять при строительстве и эксплуатации трубопроводов в условиях низких температур (минус 10–20 °С).

Трубы из полуспокойной (ПС) и спокойной (СП) стали обладают меньшей склонностью к хладноломкости, поэтому их применяют при строительстве и эксплуатации в условиях более низких температур.

Трубы из низколегированных сталей целесообразно применять, когда в период строительства и эксплуатации стенки труб могут охладиться до весьма низких температур (минус 20 °С и ниже).

Трубы из нержавеющей стали используют в реагентном хозяйстве для транспортирования агрессивных растворов. Для водозабора подземных вод пригодны бесшовные обсадные и бурильные трубы.

Ввиду того что основным способом соединения стальных труб является сварка, необходимо учитывать их свариваемость, которая ухудшается с повышением содержания углерода. При монтаже узлов трубопроводов употребляют гнутые, штампосварные и сварные стальные фасонные части, привариваемые к трубам.

Срок службы металлических трубопроводов, надежность и эффективность их эксплуатации определяются в основном степенью защиты металла от коррозии. Внутренняя коррозия вследствие роста выступов шероховатости приводит к резкому снижению пропускной способности трубопроводов, что, в свою очередь, приводит к сокращению срока службы, значительным затратам на ремонт, перекладку и прокладку дополнительных линий, перерасходу электроэнергии.

Существуют два метода защиты металлических труб от коррозии: пассивный и активный. К пассивному методу относится изоляция наружной или внутренней поверхности труб или покрытие труб специальными оболочками, к активному — электрическая защита.

Чугунные трубы на заводах покрывают специальными антикоррозионными мастиками, которые в течение некоторого времени обеспечивают защиту от коррозии.

Антикоррозионную защиту стальных труб выполняют перед или в процессе их укладки. Для наружной изоляции используют битумно-минеральные, битумно-полимерные, полимерные, этиленовые и другие покрытия.

В мировой практике строительства металлических водопроводов получили распространение внутренние покрытия на основе цемента. Они могут наноситься как на новые трубы, так и на трубы, находящиеся в длительной эксплуатации. Существует несколько способов нанесения покрытий на новые трубы. Наибольшее распространение имеет метод центрифугирования.

Средством защиты действующих трубопроводов от коррозии является очистка внутренней поверхности и нанесение антикоррозионных покрытий. Пропускная способность трубопроводов после прочистки составляет 95–97 % первоначальной. Для нанесения покрытий также существует несколько способов в зависимости от диаметра трубопроводов.

Для создания на внутренней поверхности труб полимерных покрытий при выполнении ремонтно-восстановительных работ применяется метод протаскивания внутри эксплуатируемых трубопроводов плетей из полимерных труб.

Широко используются лакокрасочные покрытия, обеспечивающие простоту технологического процесса, высокую индустриализацию и сравнительно низкую стоимость.

Защита внутренней поверхности труб может быть обеспечена и методами стабилизационной обработки воды.

К активным методам защиты металлических трубопроводов от коррозии относится катодная защита, которая основана на электрохимической теории коррозии. Из-за незначительных затрат электроэнергии этот вид защиты целесообразен как дополнительная мера. К дополнительным методам относится также способ нанесения цинкового покрытия.

Трубопроводы, уложенные вдоль электрифицированных дорог, подвергаются действию блуждающих токов. Под их влиянием происходит разрушение поверхности труб. Защита труб от их действия состоит в предотвращении образования этих токов путем специального оборудования рельсовых путей электротранспорта.

Железобетонные трубы обладают коррозионной устойчивостью, являются диэлектриками, способны сохранять в условиях эксплуатации гладкую поверхность, имеют малую металлоемкость и большую долговечность. Недостатком их является большая масса.

Напорные железобетонные трубы, изготавливаемые методами виброгидропрессования (ГОСТ 12586.0-83 и ГОСТ 12586.1-83) и центрифугирования (ГОСТ 16953-78), имеют гибкое раструбное стыковое соединение. Последние в настоящее время

сняты с производства. Герметичность стыкового соединения обеспечивается применением резинового уплотнительного кольца круглого сечения. Конструкция раструбного соединения виброгидропрессованных труб представлена на рис. 3.11, а центрифугированных — на рис. 3.12. Конструкции стыковых соединений рассчитаны на возможные угловые деформации труб в соединении около 0,75–1 град.

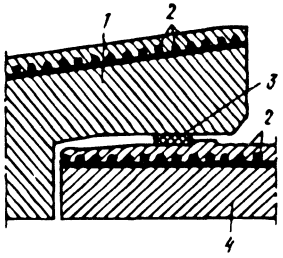


Рис. 3.11. Стыковое соединение железобетонных предварительно напряженных труб, изготовленных методом виброгидропрессования:
1 — раструб; *2* — напряженная спиральная арматура; *3* — резиновое кольцо; *4* — втулочный конец трубы

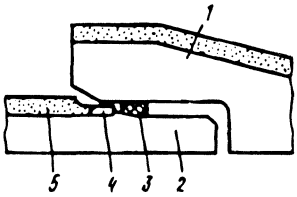


Рис. 3.12. Стыковое соединение раструбных железобетонных предварительно напряженных труб, изготовленных методом центрифугирования:
1 — раструб; *2* — втулочный конец трубы; *3* — резиновое кольцо; *4* — упорный буртик; *5* — защитный слой бетона

Монтаж трубы начинают с того, что на ее втулочный конец надевают резиновое кольцо. Затем эту трубу краном или трубоукладчиком опускают в траншею и центрируют относительно раструба уложенной трубы. Дальнейший монтаж заключается во введении втулочного конца укладываемой трубы в раструб уложенной с одновременным закатыванием резинового кольца в раструбную щель. Монтаж осуществляется с помощью различных механизмов и приспособлений.

Сортаментом предусмотрено изготовление труб диаметром от 500 до 1600 мм. В зависимости от расчетного внутреннего

давления в трубопроводе трубы подразделяются на три класса прочности. Трубы I класса предназначены для прокладки трубопроводов с расчетным внутренним давлением 1,5 МПа, II — 1,0 МПа и III класса — 0,5 МПа. На заводе трубы подвергают испытаниям на водонепроницаемость давлением 0,6–1,8 МПа в зависимости от класса.

Трубопроводы всех классов в соответствии с требованиями ГОСТов должны укладываться на глубину 2–4 м до верха трубы в зависимости от грунтовых условий, временной нагрузки на поверхность земли, способа опирания на основание и степени уплотнения засыпки.

Как показывают расчеты, железобетонные трубы всех диаметров можно укладывать на глубину до 5 м до верха трубы на плоское основание из мелких песчаных грунтов при нормальной степени уплотнения пазух и расчетном внутреннем давлении до 1,0 МПа. Для укладки труб с более высоким внутренним давлением требуется спрофилированное грунтовое основание под выкружку с углом охвата 90–120 град либо бетонное или железобетонное основание.

Существует документация на изготовление железобетонных напорных труб со стальным цилиндром на давление до 1,0 МПа. Железобетонные трубы могут подвергаться коррозии, если они уложены в агрессивных грунтах, где возможно влияние производственных сточных вод и сильноминерализованных агрессивных подземных вод. В этом случае наружную поверхность труб покрывают битумом или кузбасс-лаком.

Для соединения железобетонных труб с трубами из других материалов применяют стальные сварные вставки.

Асбестоцементные трубы имеют малые массу и теплопроводность, достаточную коррозионную стойкость и являются диэлектриками. У них небольшое гидравлическое сопротивление, которое незначительно меняется в процессе эксплуатации. Необходимо учитывать возможность внешней коррозии этих труб под воздействием веществ, разрушающих соединения, входящие в состав асбестоцемента (гидрат окиси кальция, карбонат кальция, силикат кальция, карбонат магния и др.). При прокладке трубопроводов в грунтах, агрессивных по отношению к асбестоцементу (pH грунта ниже 6), следует устраивать противокоррозионную защиту.

Асбестоцементные трубы хрупки. При ударах в материале труб появляются напряжения, которые могут превышать допустимые, и в стенке появляются трещины, обнаруживающиеся

лишь при гидравлических испытаниях. Асбестоцементные трубы необходимо укладывать в ненарушенный грунт, чтобы исключить просадку.

Асбестоцементные трубы выпускаются по ГОСТ 539-80. Трубы подразделяются на четыре класса: ВТ 6 (рабочее давление 0,6 МПа); ВТ 9 (0,9 МПа); ВТ 12 (1,2 МПа) и ВТ 15 (1,5 МПа). Рабочим давлением является максимальное гидравлическое давление, при котором может быть использована труба данного класса при отсутствии внешней нагрузки. Класс труб определяют расчетом, в котором учитывают условия эксплуатации. Трубы каждого класса в зависимости от внешнего диаметра и длины подразделяются на три типа. Трубы первого типа выпускают диаметром 100–500 мм, длиной 3–4 м; второго — диаметром 200–500 мм, длиной 5 м; третьего — диаметром 200 и 300 мм, длиной 6 м.

Трубы стыкуют с помощью асбестоцементных муфт САМ по ГОСТ 539-80 (рис. 3.13) или чугунных муфт по ГОСТ 17584-72* (рис. 3.14). Для уплотнения применяют резиновые кольца. Монтаж трубопровода с применением муфт типа САМ производится следующим образом. В пазы муфты вставляют уплотнительные резиновые кольца. Затем муфту надвигают на всю длину на конец присоединяемой трубы, после чего ее опускают в траншею и центрируют с ранее уложенной трубой. Для надвигания муфты используют винтовой домкрат, который устанавливают и закрепляют на ранее уложенной трубе.

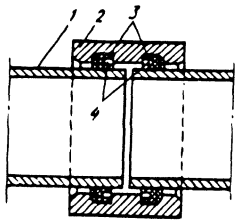


Рис. 3.13. Стык с асбестоцементной муфтой:
1 — асбестоцементная труба; *2* — муфта; *3* — резиновое кольцо; *4* — перфорация

Монтаж трубопроводов на чугунных фланцевых муфтах производится в таком порядке. На конец ранее уложенной трубы надевают фланец, резиновое кольцо и втулку муфты, а на конец присоединяемой трубы — второй фланец и резиновое кольцо. После центровки фланцы стягивают с помощью болтов с шайбами. Чугунные муфты удобны при ремонте или замене

части трубопровода. Однако стяжные болты могут разрушаться коррозией. В асбестоцементных трубопроводах в большинстве случаев используют чугунные фасонные детали. В последнее время появились данные о том, что эти трубы содержат вещества, небезопасные для здоровья человека.

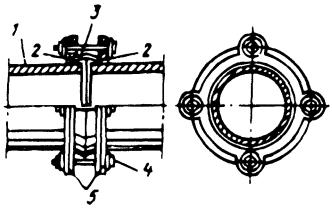


Рис. 3.14. Стык с чугунной фланцевой муфтой:
1 — асбестоцементная труба; *2* — резиновые кольца; *3* — втулка; *4* — стяжной болт; *5* — фланцы

Пластмассовые трубы обладают рядом свойств, выгодно отличающих их от труб из традиционных материалов. Потери напора на трение в них приблизительно на 30 % меньше, чем в металлических трубах. Они не подвержены электрохимической коррозии. В них не происходит увеличение сопротивления во времени.

Гидравлический удар, возникающий в трубопроводах из пластмассовых труб, значительно слабее из-за более низкого модуля упругости материала. Они имеют меньшую массу по сравнению с другими трубами. Вероятность разрушения этих трубопроводов при замерзании в них воды мала.

Пластмассовые трубы применяют для наружных сетей водоснабжения поселков, пастбищного, локального и группового сельскохозяйственного водоснабжения. Они перспективны при прокладке сетей в агрессивных грунтах, в сейсмических районах, в гористой и болотистой местности, где применение других труб связано с дополнительными затратами. Однако пластмассовые трубы не обладают высокой сопротивляемостью раздавливанию и имеют большой коэффициент линейного расширения. В системах водоснабжения разрешается применять лишь те трубы из полимерных материалов, которые обеспечивают сохранение качества воды. Для наружных и внутренних сетей водоснабжения применяют пластмассовые напорные трубы из полиэтилена низкой плотности (ПНП) и полиэтилена высокой плотности (ПВП) по ГОСТ 18599-83*. Наиболее полный ряд наружных диаметров (10—1200 мм) представлен

этим ГОСТом на трубы из полиэтилена высокой плотности (полиэтилен низкого давления). Выпуск труб из полиэтилена низкой плотности (полиэтилен высокого давления) предусматривают в диапазоне диаметров 10–160 мм. Указанные трубы изготавливают четырех видов — Л, ЧЛ, Ч и Т на рабочее давление соответственно 0,25; 0,4; 0,6 и 1,0 МПа. Эти давления принимают из условия предполагаемого срока службы не менее 50 лет при температуре воды 20°С.

Трубы напорные из непластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) выпускают по ТУ 6-19-231-83. Их изготавливают четырех классов — СЛ, С, Т и ОТ на давление соответственно 0,4; 0,6; 1,0 и 1,5 МПа в диапазоне диаметров 10–315 мм.

Для систем водоснабжения могут также применяться напорные полипропиленовые трубы, выпускаемые по ТУ 38-102-100-89 диаметрами 32–200 мм на рабочее давление до 1,0 МПа.

С понижением температуры пластические свойства пластмассовых труб ухудшаются, поэтому должны соблюдаться требования по их транспортировке, разгрузке, хранению, монтажу и сварке. При низких температурах наружного воздуха целесообразно применять трубы из полиэтилена высокой и низкой плотности.

Тип соединений труб выбирают в зависимости от конкретных условий работы и прокладки трубопроводов, а также материала труб и фасонных частей. Неразъемные соединения из полиэтилена высокой и низкой плотности выполняют с помощью сварки контактным нагревом, а из ПВХ — склеиванием или газовой прутковой сваркой. Соединения пластмассовых труб с трубами из других материалов выполняют на фланцах.

Для укладываемых в грунт напорных пластмассовых трубопроводов со сварными и клеевыми соединениями линейная компенсация температурных напряжений, как правило, не предусматривается. Для снижения этих напряжений при прокладке в летнее время укладку трубопроводов в траншею осуществляют «змейкой».

С целью замедления старения трубы из пластмассы должны быть защищены от попадания солнечных лучей.

В некоторых случаях для транспортирования воды можно применять стеклянные и фанерные трубы, выпускаемые промышленностью.

Анализ достоинств и недостатков труб различных типов позволяет правильно производить их выбор для применения в конкретных условиях.

Для систем водоснабжения, как правило, должны применяться неметаллические трубы. Строительство напорных трубопроводов из чугунных труб в соответствии с требованиями СНиП разрешается в пределах населенных пунктов, территорий промышленных и сельскохозяйственных объектов. При рабочих давлениях свыше 1,5 МПа допускается применение стальных труб. Они также могут использоваться для переходов под железными и автомобильными дорогами, через овраги и водные преграды, в местах пересечения хозяйственно-питьевого водопровода с сетями канализации, при прокладке трубопроводов по опорам эстакад и в туннелях. В вечномерзлых и просадочных грунтах допускается применение как стальных, так и пластмассовых труб.

3.6.2. Трубопроводная арматура систем водоснабжения

Для обеспечения нормальной эксплуатации водопроводная сеть должна быть оборудована арматурой. Трубопроводная арматура представляет собой комплект устройств для регулирования, обслуживания, ремонта и обеспечения надежной работы систем водоснабжения. По назначению трубопроводная арматура бывает следующих видов: аэрационная, водоразборная, запорная, запорно-предохранительная, предохранительная, регулирующая. Она должна отвечать ряду требований: соответствовать внешним и внутренним нагрузкам на трубопровод, обеспечивать герметичность, иметь необходимые гидравлические, кавитационные и противокоррозионные свойства, отвечать требованиям надежности.

Основные параметры арматуры характеризуются диаметром условного прохода D_y, значения которого установлены ГОСТом, и условным давлением P_y — наибольшим избыточным рабочим давлением при температуре среды 20 °С. В каталогах трубопроводной арматуры в дополнение обычно указывают ее рабочее и пробное давление.

Аэрационная арматура служит для впуска в водопровод и выпуска из него воздуха. Она необходима для удаления воздуха, скапливающегося в повышенных точках трубопровода в процессе эксплуатации и из участков водоводов при их заполнении водой, а также для впуска в места разрывов сплошности потока, возникающих при переходных режимах, и в трубопровод при плановом или аварийном опорожнении его. К аэрацион-

ной арматуре относятся вантузы и клапаны для впуска, выпуска и защемления воздуха.

Вантузы подразделяются на шаровые, рычажные и мембранные. В шаровых вантузах (рис. 3.15) при отсутствии воздуха в трубопроводе вода поднимается и прижимает полиэтиленовый шар к отверстию втулки. При скоплении воздуха в верхней части вантуза шар опускается вместе с водой, отверстие втулки открывается и воздух выходит наружу. Принцип действия рычажного вантуза аналогичен принципу действия шарового. Мембранные вантузы предназначены как для удаления, так и для впуска воздуха в трубопровод при образовании в нем вакуума. Вантузы выпускаются с диаметром присоединительного патрубка 50 мм и диаметром выпускного отверстия 3–8 мм. Они рассчитаны на небольшую производительность и способны выпускать воздух при давлении ниже, чем в системах водоснабжения. Это сужает область их применения.

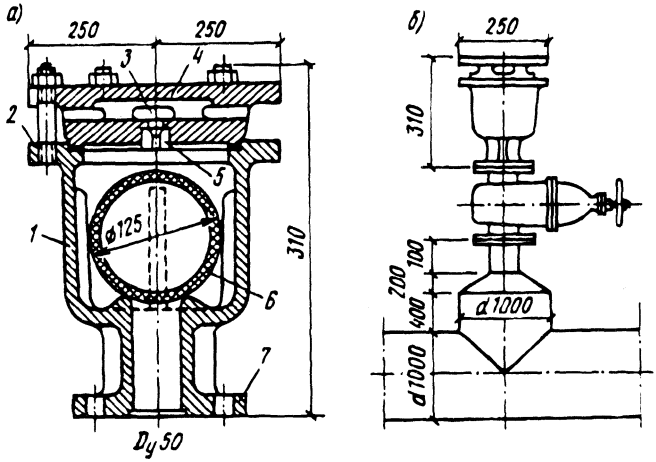


Рис. 3.15. Шаровой вантуз $D_у$ = 50 мм (*а*) и схема установки его на водоводе $D_у$ = 1000 мм (*б*):
1 — корпус; *2* — верхний фланец; *3* — отверстие; *4* — зонт-крышка; *5* — втулка; *6* — полиэтиленовый шар; *7* — нижний фланец

Для впуска и выпуска больших объемов воздуха используются автоматические клапаны для впуска и выпуска воздуха (КВВВ), разработанные ВОДГЕО. Эти клапаны выпускаются $D_у$ = 400–500 мм.

Клапан для впуска и защемления воздуха (КВЗВ) предназначен для автоматического впуска воздуха в водовод при образова-

нии в нем вакуума. Он применяется для предотвращения гидравлических ударов, начинающихся с волны понижения давления, для защиты тонкостенных труб от деформации в момент возникновения вакуума при переходных режимах, для впуска воздуха при опорожнении водоводов. КВЗВ выпускаются $D_у = 50$ и 150 мм на максимальную подачу воздуха 0,04–0,045 м^3/с. КВВВ и КВЗВ рассчитаны на давление 1,6 МПа. Материал клапанов — сталь, чугун. Места их установки определяют расчетами переходных процессов в трубопроводах.

С целью опорожнения трубопроводов в пониженных точках каждого ремонтного участка, а также в местах, принятых для промывки трубопроводов перед сдачей в эксплуатацию по окончании строительства или после ремонта, устанавливают **выпуски**. Выпуск представляет собой короткую трубу с задвижкой, примыкающую в нижней части сечения водовода. На чугунных водоводах применяют стандартные выпуски, на стальных — выпуск приваривают к трубе.

Через выпуск вода удаляется в водосток, овраг или канаву, а если это невозможно, то в месте расположения выпусков предусматривают колодцы, из которых воду откачивают насосом. Диаметр выпусков назначают из условия опорожнения обслуживаемых ими участков водоводов или сетей в течение не более двух часов.

Арматура водоразборная предназначена для отбора воды из системы водоснабжения. К ней относятся краны, поплавковые клапаны, уличные колонки, пожарные гидранты. Арматура первых двух видов используется в системах санитарно-технического оборудования жилых и общественных зданий при отборе воды на хозяйственно-питьевые нужды и для заполнения различных емкостей. По принципу работы запорных органов она бывает вентильного, золотникового, шайбового и клапанного типов. Ее конструкции отличаются большим разнообразием.

Отбор воды на хозяйственно-бытовые нужды может осуществляться из уличных водозаборных колонок, устанавливаемых на наружной водопроводной сети. Они обеспечивают полную герметизацию трубопроводов, транспортирующих воду, от попаданий загрязнений извне. Для целей питьевого водоснабжения также служат колонки — фонтанчики, устанавливаемые в парках, садах и других местах отдыха.

Пожарные гидранты используются для целей отбора воды на пожаротушение. Их устанавливают в смотровых колодцах через 150 м. Также пожарные гидранты применяют для заполнения

автоцистерн при поливе зеленых насаждений и мытье площадей и улиц. Пожарные гидранты бывают наземными и подземными. Наземные гидранты бесколодезного типа применяются в сельской местности и пригородной зоне, где отпадает надобность в подземных гидрантах.

Существуют конструкции гидрантов, совмещенных с водоразборной колонкой. Пожарные подземные гидранты устанавливают в водопроводных колодцах, что удорожает строительство.

Запорная арматура предназначается для перекрытия потока в трубопроводе. К ней относятся задвижки, дисковые поворотные затворы, вентили, краны. Задвижки по конструкции запорного органа подразделяются на параллельные и клиновые (рис. 3.16). В параллельных задвижках проход корпуса перекрывается двумя параллельными, подвижно соединенными между собой дисками, которые раздвигаются одним или двумя расположенными между ними клиньями; в клиновых — одним клинообразным круглым диском, помещенным в гнезда между наклонными уплотняющими кольцами корпуса. Преимущество параллельных задвижек перед клиновыми состоит в меньшей трудоемкости обработки уплотняющих колец и их изнашиваемости, а также в меньших усилиях при открывании после длительного нахождения в положении «закрыто». Задвижки изготавливают с выдвижными и невыдвижными шпинделями. Выдвижной шпиндель при вращении совершает поступательное движение, а невыдвижной — только вращательное. Первые имеют бóльшую высоту в положении «открыто» на величину хода шпинделя. Задвижки бывают плоскими, овальными, круглыми соответственно на низкое, среднее и высокое давление. Они выпускаются на давление 0,25–6,4 МПа в диапазоне диаметров 50–800 мм. Корпус задвижек изготавливают из чугуна при P_y до 1 МПа или стали при бóльших давлениях. Зарубежными фирмами для изготовления общепромышленной арматуры широко используется ковкий чугун, который выдерживает большие нагрузки и эластичен, как сталь.

Задвижки выпускаются с ручным, электрическим и гидравлическим приводами. Первые используются при отсутствии необходимости частых перекрытий трубопроводов; вторые — при наличии потребности в систематических открываниях и закрываниях, а также автоматизации работы задвижек. При опасности последствий отключения электропитания водопроводных сооружений автоматическое отключение задвижек осуществляется гидравлическим приводом.

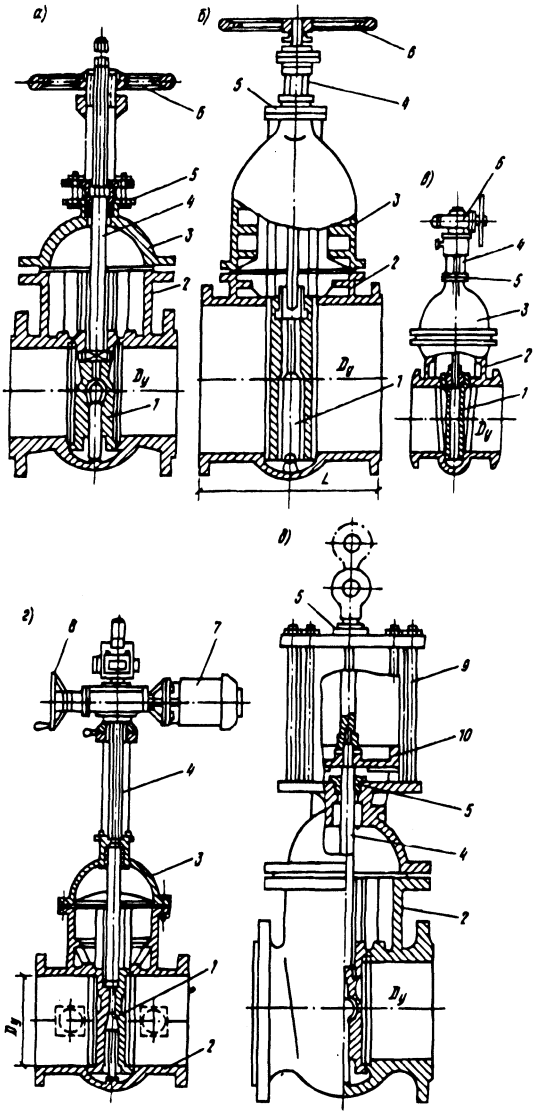


Рис. 3.16. Схемы задвижек:

а, *б* — параллельные с ручным приводом с выдвижным шпинделем; *в* — клиновая с ручным приводом и невыдвижным шпинделем; *г*, *д* — параллельные с электрическим и гидравлическим приводами; *1* — запорный диск; *2* — корпус; *3* — крышка; *4* — шпиндель; *5* — сальник; *6* — штурвал; *7* — электропривод; *8* — маховик ручного привода; *9* — цилиндр; *10* — поршень

Задвижки бóльших диаметров оборудуют обводными линиями, на которых устанавливают задвижки меньших диаметров для выравнивания давления до и после запорного органа с целью облегчения открывания. Соединение задвижек с трубопроводом — фланцевое. Достоинство задвижек — хорошая герметичность; недостатки — значительная масса, габаритные размеры, стоимость и неравномерное возрастание гидравлического сопротивления в процессе закрывания. Задвижки нецелесообразно использовать для регулирования подачи, так как они не рассчитаны на работу частично открытыми. В современной практике отдается предпочтение задвижкам с уплотнением из эластомеров — материалов высокомолекулярных структур. Их применение в значительной мере решает проблемы обеспечения в течение всего срока эксплуатации герметичности, коррозионной стойкости, незасоряемости, малого гидравлического сопротивления, санитарной пригодности. Современное направление совершенствования задвижек связано с созданием бесфланцевых задвижек, исключающих трудности эксплуатации фланцевых соединений на болтах. Монтаж задвижек на трубопроводах в зависимости от конструкции может осуществляться по камерному и бесколодезному типу.

К многоцелевому типу относятся кольцевые задвижки. В зависимости от варианта исполнения управляющего органа кольцевая задвижка может работать в качестве запорного устройства, обратного клапана, дросселирующего устройства, регулятора давления, сбросного устройства, регулятора уровня. Они хорошо себя зарекомендовали при создании средств защиты насосных станций и водоводов от гидравлического удара. Общий вид кольцевой задвижки с гидравлическим приводом представлен на рис. 3.17. Открывание и закрывание кольцевой задвижки осуществляются водой, транспортируемой по трубопроводу, на котором эта задвижка установлена. Если давление трубопровода передать в пространство *А*, а пространство *Б* соединить с атмосферой, то задвижка откроется. Задвижка закроется, если давление из трубопровода передать в пространство *Б*, а пространство *А* сообщить с атмосферой. Недостатками этих задвижек являются сложность изготовления и высокая стоимость.

Дисковые поворотные затворы (ДПЗ) имеют ряд преимуществ перед задвижками: меньшая масса, габариты и стоимость, высокие показатели надежности, более плавное изменение гидравлического сопротивления при закрывании, возможность работы затворов некоторых конструкций в промежуточном поло-

жении. Их недостатки — более высокое гидравлическое сопротивление и неудобства, которые могут возникнуть при прочистке трубопровода. В мировой практике существует множество различных конструкций ДПЗ, выпускаемых в диапазоне 60–2800 мм на $P_y = 0{,}25–1{,}2$ МПа. На рис. 3.18 приведен дисковый поворотный затвор с уплотнением на диске, находящийся в закрытом положении, на условное давление $P_y = 1$ МПа.

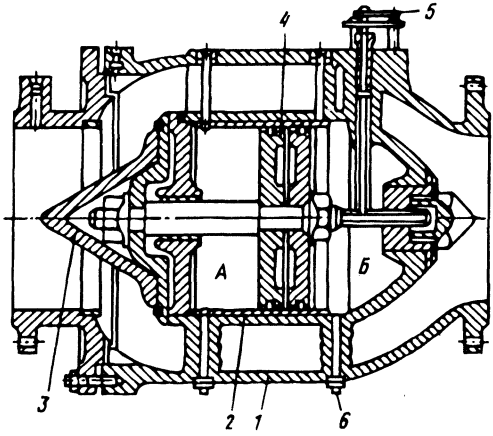


Рис. 3.17. Кольцевая задвижка:
1 — корпус; *2* — гидроцилиндр; *3* — запорный клапан; *4* — поршень; *5* — указатель положения клапана; *6* — сливная пробка

Общим для всех конструкций ДПЗ является широкое использование синтетических материалов и никеля с целью создания герметичности затвора и обеспечения хороших гидравлических, кавитационных и противокоррозионных свойств.

В качестве материала корпуса применяются стали различных марок и чугун. Для защиты от коррозии, вызываемой действием воды и земли, корпус покрывают смолой или осуществляют эмалирование, электростатическое нанесение пластмассы.

ДПЗ оборудуются механическим, электрическим или гидравлическим приводом. Приводом может обеспечиваться либо постоянный крутящий момент, либо программированный — соответствующий требуемому гидравлическому режиму. Наиболее благоприятным режимом закрытия является программированный — быстрый в начальной стадии и замедленный в конце. Это обеспечивает равномерное изменение гидравлического сопротивления ДПЗ, а следовательно, уменьшает опасность повышения давления сверх допустимого.

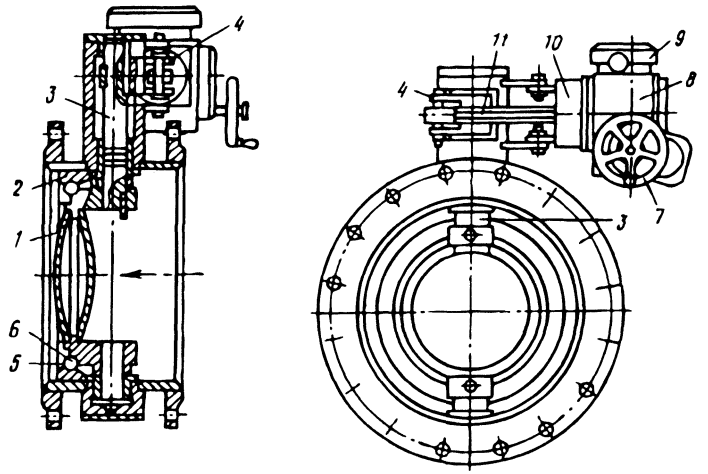


Рис. 3.18. Дисковый поворотный затвор:
1 — диск; *2* — седло; *3* — вал; *4* — рычаг; *5* — прижимное кольцо; *6* — резиновое кольцо; *7* — ручной штурвал; *8* — электропривод; *9* — концевой выключатель; *10* — бугельный узел; *11* — шпиндель

В качестве запорной арматуры на трубопроводах небольших диаметров могут использоваться краны вертикального и золотникового типов, применяемые в санитарно-технических системах. Однако они имеют большое гидравлическое сопротивление и при быстром закрывании могут вызывать гидравлический удар.

Арматура запорно-предохранительная предназначена для отключения трубопроводов при возникновении обратного тока воды. К ней относятся клапаны обратные, выпускаемые различных конструкций на условное давление P_y = 0,25–4,0 МПа, с регулируемым (рис. 3.19) и нерегулируемым закрыванием (рис. 3.20). Первые выпускаются в диапазоне диаметров 200–1000 мм. Они предназначены для безударного отключения трубопроводов и для установки на автоматизированных насосных станциях, предусматривающих пуск и остановку агрегатов на открытую запорную арматуру. Под действием потока воды диск с рычагом поворачивается вокруг вала на 85 град и клапан открывается. При выключении насосного агрегата закрытие клапана на первых поворотах на 57–63 град происходит быстро, а при последующих поворотах на 22–28 град — замедленно. Торможение диска осуществляется демпфером, в котором масло под давлением от поршня протекает через дроссельные отверстия из одной полости в другую. Эти клапаны широко ис-

пользуются в устройствах защиты от гидравлических ударов. Клапаны обратные с односторонней подвеской, закрытие которых нерегулируемо, выпускаются в диапазоне диаметров 50–150 мм. Их местоположение зависит от компоновки оборудования насосных станций.

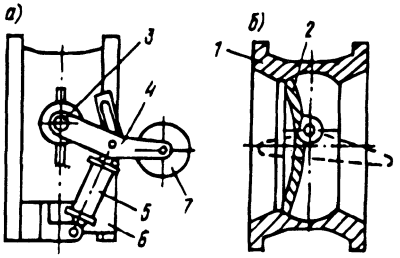


Рис. 3.19. Клапан обратный с регулируемым закрытием:
а — общий вид; *б* — разрез; *1* — корпус; *2* — диск; *3* — вал; *4* — рычаг диска; *5* — гидроцилиндр-демпфер; *6* — кронштейн; *7* — противовес

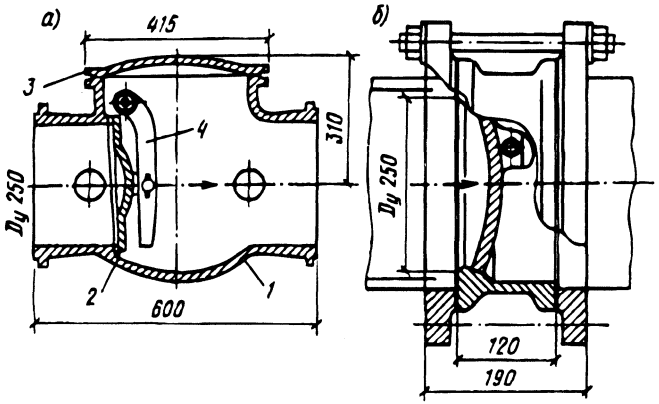


Рис. 3.20. Клапан обратный с нерегулируемым закрытием:
а — типа «захлопка»; *б* — безударный; *1* — корпус; *2* — тарель клапана; *3* — крышка корпуса; *4* — рычаг

При установке обратных клапанов по длине водовода в качестве противоударной защиты их местоположение определяют расчетами переходных процессов.

Арматура предохранительная — устройство для автоматического ограничения параметров давления и расхода потока. Наибольшее распространение находит арматура, ограничивающая давление в трубопроводах при переходных процессах в системах водоподачи. К ней относятся воздушно-гидравлические колпаки, водонапорные колонны и сбросные устройства.

Воздушно-гидравлические колпаки — стальные сосуды, установленные на трубопроводе и заполненные в верхней части воздухом примерно на $^2/_3$ объема при статическом давлении. При гидравлическом ударе, сопровождающемся повышением давления, часть воды из трубопровода вытекает в колпак и сжимает находящийся там воздух, давление снижается вследствие амортизирующих свойств воздуха.

При понижении давления в процессе удара воздух в колпаке расширяется и часть воды из колпака вытекает в трубопровод, заполняет разрывы сплошности потока, не допуская в трубах образования вакуума и последующего повышения давления. К достоинствам воздушно-гидравлических колпаков относятся простота устройства, отсутствие сброса воды из трубопровода, высокая степень гашения гидравлических ударов; к недостаткам — быстрое уменьшение в них запаса воздуха в результате растворения его в воде, громоздкость. Они обычно устанавливаются стандартных объемов.

Вместо колпаков для гашения гидравлических ударов в ряде случаев могут использоваться водонапорные колонны, имеющие открытую поверхность. Их высота превышает рабочий напор в трубопроводе в месте установки. При возрастании давления уровень воды в колонне повышается и гидравлический удар затухает. Они применяются в системах промышленного водоснабжения и орошения.

К сбросной арматуре относятся специальные клапаны и устройства различных конструкций. Они делятся на две группы: срабатывающие при гидравлических ударах, начинающихся с волны повышения давления; срабатывающие при ударах, начинающихся с волны понижения давления. К первой группе относятся предохранительные разрывные мембраны, предохранительные пружинные клапаны и устройства, ко второй — гасители гидравлических ударов, разработанные УкрВОДГЕО.

Предохранительные разрывные мембраны — это диски, изготовленные из стали, чугуна, титана и других материалов, разрушающиеся при давлении воды, превышающем расчетное; при этом часть жидкости сбрасывается и давление в трубопроводе падает. Их устанавливают на отводном трубопроводе за постоянно открытой задвижкой. После разрушения мембраны задвижку закрывают только на время замены мембраны.

Клапаны пружинные предохранительные (рис. 3.21) устанавливаются в местах, где существует опасность повыше-

ния давления. При давлении в водоводе, превышающем допустимое, клапан срабатывает. Поскольку они инерционны, т. е. открытие происходит с некоторым запаздыванием, то их целесообразно применять в сочетании с другими средствами защиты (например, клапанами для впуска и защемления воздуха). Промышленность выпускает клапаны диаметром 25–200 мм. Они устанавливаются на трубопроводах диаметром до 800 мм.

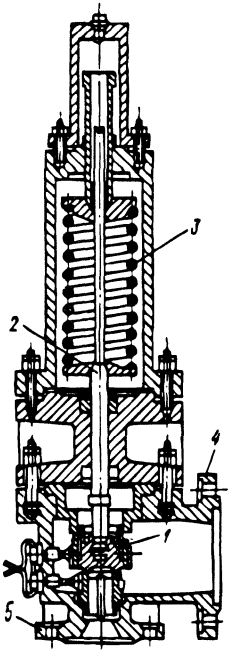


Рис. 3.21. Клапан пружинный предохранительный:
1 — клапан; *2* — шток; *3* — пружина; *4* — сбросной патрубок; *5* — соединительный фланец

Клапан защитный гидравлический КЗГ-120 (рис. 3.22) специально предназначен для защиты трубопроводов оросительных систем от гидравлического удара и недопустимого статического повышения давления. Избыточное давление снижается вследствие выброса части воды при гидравлическом ударе из трубопровода и разбрызгивания ее радиусом 12–15 м вокруг клапана в виде дождя. Поэтому устанавливать его в здании насосной станции недопустимо. Он устанавливается на стояке поливочного трубопровода после за-

движки D_y = 100 мм у неподвижной опоры при рабочем давлении не выше 1,2 МПа и расходе воды в трубопроводе до 120 л/с. Существуют клапаны иных типов для данных условий работы системы.

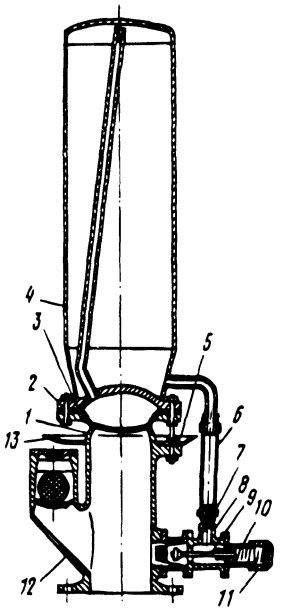


Рис. 3.22. Клапан защитный гидравлический:
1 — корпус; *2* — крышка; *3* — эластичная диафрагма; *4* — воздушный баллон; *5* — шпильки; *6* — трубка; *7* — отсечное устройство; *8* — корпус отсечного устройства; *9* — клапан отсечной; *10* — пружина; *11* — тарировочная гайка; *12* — вантуз; *13* — отражательная тарелка

Ко второй группе сбросных устройств относится гаситель гидравлических ударов конструкции УкрВОДГЕО. Его устанавливают в здании насосной станции на патрубке после обратного клапана. Гасители этой конструкции рекомендуются для трубопроводов больших диаметров. Они не реагируют на гидравлический удар, возникающий при пуске насоса, т. е. удар, начинающийся с волны повышения давления. Недостатки этого устройства заключаются в сложности конструкции и эксплуатации. Их не устанавливают в промежуточных точках водовода.

Регулирующая арматура применяется при необходимости поддержания в напорных системах водоснабжения на требуемом уровне расхода или давления. Необходимость дросселирования

возникает при ограничении подачи воды насосами, перераспределении нагрузки между совместно работающими насосами, при установлении требуемого режима водовода и др. Регулирование давления необходимо в тех случаях, когда в распределительных и магистральных трубопроводах оно значительно отличается от требуемого. Давление воды можно регулировать с помощью специальных клапанов, а также регуляторов давления на базе дисковых поворотных затворов и кольцевых задвижек. Они в зависимости от конструкции могут автоматически поддерживать давление «после себя» или «до себя».

Клапаны изготавливают рычажными или пружинными фланцевыми чугунными на давление P_y = 1,6 МПа, диаметром 60–300 мм. Возможность использования указанных клапанов ограничена из-за их инерционности в моменты резкого изменения давления. Это может приводить к значительному повышению давления в трубопроводе.

Регуляторы давления на базе дисковых поворотных затворов с уплотнением в корпусе с программированным закрытием, как правило, вызывают повышение давления не более чем на 0,2 МПа сверх рабочего.

Дисковый поворотный затвор оборудуется гидроприводом, управляющим устройством с электрическим реле и регулирующим клапаном, который настраивается на поддержание требуемого давления за или перед затвором. Повышение или понижение давления в контролируемой точке трубопровода по сравнению с требуемым передается в регулирующий орган, который заставляет работать гидропривод в направлении открывания или закрывания затвора, чтобы поддержать давление в заданном диапазоне. Регулятор давления D_y = 150–300 мм рассчитан на поддержание требуемого давления за затвором в диапазоне 0,3–1,2 МПа. Вместо дискового поворотного затвора может использоваться кольцевая задвижка.

3.7. Сооружения на водопроводной сети и водоводах

Нормальная работа системы подачи и распределения воды может быть обеспечена, если созданы условия для беспрепятственного доступа к основным ее узлам. Такими узлами являются места установки арматуры и фасонных частей с фланцевыми соединениями. В этих местах устраивают водопроводные колодцы и камеры.

Для определения габаритов водопроводных колодцев и их числа необходимо знать диаметр труб, размеры фасонных частей, задвижек, затворов, пожарных гидрантов и т. д., а также места их установки. Поэтому при проектировании после определения диаметров и выбора материала труб производят детализировку всех узлов сети. Правильное конструирование узлов и рациональное использование существующего сортамента арматуры и фасонных частей позволяют снизить строительную стоимость сети и уменьшить размеры колодцев и камер. Прежде всего намечают места установки гидрантов и различной арматуры, а затем осуществляют подбор необходимых фасонных частей для монтажа отдельных узлов.

При определении размеров колодцев минимальные расстояния до внутренних поверхностей колодцев следует выбирать, руководствуясь требованиями СНиП. Колодцы шириной до 2,5 м, как правило, устраивают круглыми, свыше 2,5 м — прямоугольными.

На рис. 3.23 показан круглый в плане колодец из сборного железобетона, предназначенный для основных узлов трубопроводов диаметром 100–600 мм. Колодец состоит из основания, рабочей камеры и горловины, которая заканчивается чугунным люком с крышкой. На рис. 3.24 показана камера из сборного железобетона (разработанная институтом «Мосинжпроект»), устраиваемая на водоводах и водопроводных магистралях.

Высота рабочей части колодцев должна быть не менее 1,5 м. Для спуска в колодец на его горловине и стенках надлежит устанавливать рифленые стальные или чугунные скобы; допускается применение переносных металлических лестниц. Вокруг люков и колодцев, размещаемых на застроенных территориях без дорожных покрытий, следует предусматривать отмостки шириной 0,5 м с уклоном от люков.

На проезжей части крышки люков должны быть на одном уровне с ее поверхностью. При заделке труб в стенках колодцев необходимо обеспечивать плотность соединений, водонепроницаемость в мокрых грунтах, а также возможность осадки стенок.

При прокладке значительных и сложных узлов трубопроводов больших диаметров для размещения коммуникаций устанавливают камеру переключений. При размещении задвижек в камерах предусматривается возможность управления ими с поверхности земли через небольшие люки с помощью специальных устройств.

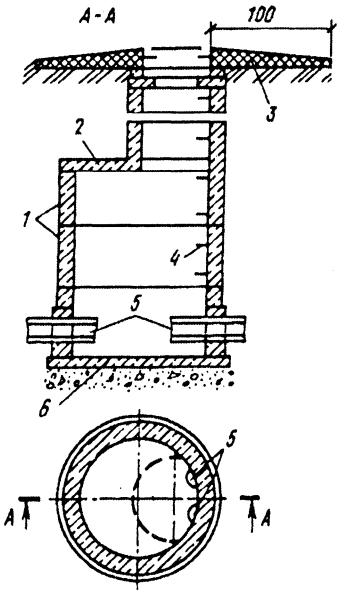


Рис. 3.23. Водопроводный колодец:
1 — кольцо из железобетона; *2* — плита перекрытия; *3* — отмостка; *4* — скобы; *5* — трубы водопроводной сети; *6* — днище

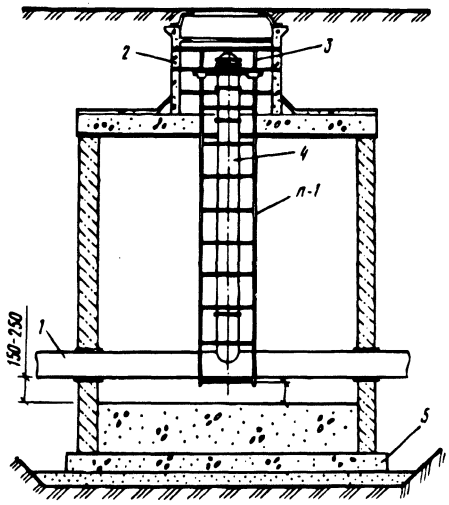


Рис. 3.24. Камера из сборного железобетона:
1 — водонапорная линия; *2* — горловина камеры; *3* — лестница; *4* — пожарный гидрант; *5* — железобетонное днище

При использовании для водоводов железобетонных напорных труб с целью уменьшения габаритов камер участки водовода, непосредственно примыкающие к камере, выполняют из стальных труб. При наличии подземных вод днище и стенки колодцев и камер гидроизолируют битумом или цементным раствором. Воду из камер удаляют с помощью насосов, используя для этого приямки. При возможности сброса вод из камер в существующий водоток или дренаж следует предусматривать отвод вод из приямков по чугунным трубам в водосточный или дренажный колодец.

Под действием внутренних сил давления воды в напорных водопроводных трубах возникают растягивающие напряжения, которые не могут быть восприняты стыками труб. Они появляются в местах поворота линий, на ответвленных, тупиковых участках, на узлах сети. Для исключения смещения и повреждения трубопроводов в водопроводных колодцах и камерах или в грунте устраивают упоры в виде бетонных или кирпичных массивов.

Переход водопроводной линии под железной или автомобильной дорогой — достаточно ответственное сооружение, так как разрыв или повреждение их может привести к созданию аварийной ситуации. Эти переходы осуществляют, как правило, в специальных кожухах (футлярах). Кожух перехода служит для предохранения рабочего трубопровода от нагрузок, возникающих от подвижного состава, и для защиты его от воздействия агрессивных грунтов и блуждающих токов. Футляр выполняется из стальных труб.

Переходы должны обеспечивать безопасное движение транспорта в период производства работ по прокладке трубопроводов, предохранение земляного полотна и покрытия дорог от размыва при возможной аварии на трубопроводах, а также предохранение трубопроводов перехода от разрушения. Переходы должны устраиваться на прямолинейных участках трубопроводов с пересечением полотна железной или автомобильной дороги под прямым углом. Переходы обычно располагают под полотном железной дороги в местах с минимальным числом путей, как правило, вне мест расположения стрелочных переводов и съездов, не ближе 10 м от опор контактной сети и фундаментов искусственных сооружений. Типовые проекты переходов водопроводных линий под железнодорожными путями разработаны институтом «Мосгипротранс» (рис. 3.25).

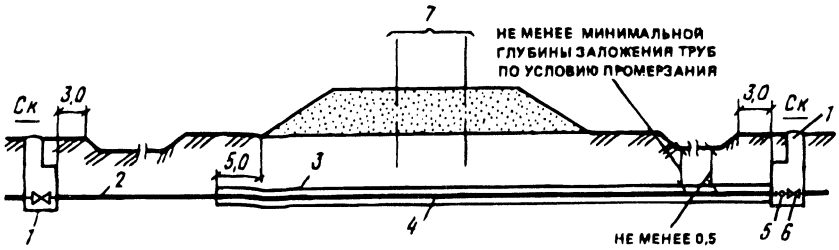


Рис. 3.25. Переход водопроводной линии под железнодорожными путями:

1 — водопроводный колодец; *2* — ремонтный участок; *3* — кожух; *4* — рабочая труба; *5* — выпуск; *6* — задвижка; *7* — железнодорожное полотно

Конструкцией перехода предусматривается возможность наблюдения за его работой, отключения и опорожнения. Общая длина перехода складывается из длины кожуха и длины ремонтного участка. Кожух принимается такой длины, чтобы концы его были выведены на расстояние не менее 5 м от подошвы откоса насыпи и 3 м от бровки откоса выемки. Длина ремонтного участка принимается не менее 10 м.

На трубопроводе с обеих сторон перехода устраивают колодцы с запорной арматурой, установленной в целях отключения и опорожнения переходов. Диаметр рабочей трубы перехода принимают, как правило, равным диаметру рабочего трубопровода; диаметр кожуха определяют в зависимости от диаметра и материала рабочей трубы и от способа производства работ в соответствии со СНиП 2.04.02-84*. Рабочий напорный трубопровод, укладываемый в кожухе, принимается из стальных труб, так как при их укладке обеспечивается целостность стыков при затаскивании труб в кожух.

Устройство переходов под железнодорожными и автомобильными дорогами может производиться бестраншейным или открытым способом. Схемы переходов под автомобильными дорогами аналогичны схемам переходов под железнодорожными путями.

Переход водопроводных труб через реки может быть осуществлен по мосту, а также по дну реки. При переходе по дну реки водопроводные трубы укладываются в виде дюкера. Число линий труб дюкера должно быть не менее двух, при этом при выключении одной из линий по остальным должна обеспечиваться подача 100 % расчетного расхода воды. Дюкеры укла-

дывают из стальных труб повышенной прочности с усиленной антикоррозионной защитой. Глубина укладки подводной части трубопровода (до верха трубы) должна быть ниже дна водоема не менее чем на 0,5 м, а в пределах фарватера на судоходных водотоках — не менее чем на 1 м. Расстояние между линиями дюкера в свету принимается не менее 1,5 м. По обе стороны дюкера устраивают специальные колодцы с установкой в них с помощью задвижек необходимых переключений. Дюкеры собирают и сваривают на поверхности. Основными способами укладки трубопроводов под водой являются: метод свободного погружения; опускание трубопровода с плавучих или стационарных опор; опускание со льда и с плавучих средств при постепенном наращивании плетей; протаскивание плетей трубопровода по дну подводной траншеи.

Целесообразность использования того или иного способа определяют на основе технико-экономического сравнения вариантов исходя их местных условий.

Раздел 4. Водозаборные сооружения

4.1. Сооружения для забора подземных вод

4.1.1. Условия залегания подземных вод, их использование

Изучением подземных вод занимается наука гидрогеология. Отметим лишь важнейшие гидрогеологические показатели и условия залегания подземных вод, определяющие использование их водозаборами для водоснабжения.

По условиям залегания (рис. 4.1) различают два основных типа подземных вод — безнапорные и напорные. Горизонты безнапорных вод не имеют сплошного непроницаемого покрытия. В таких горизонтах устанавливается свободный уровень воды, глубина которого соответствует поверхности водоносных пород.

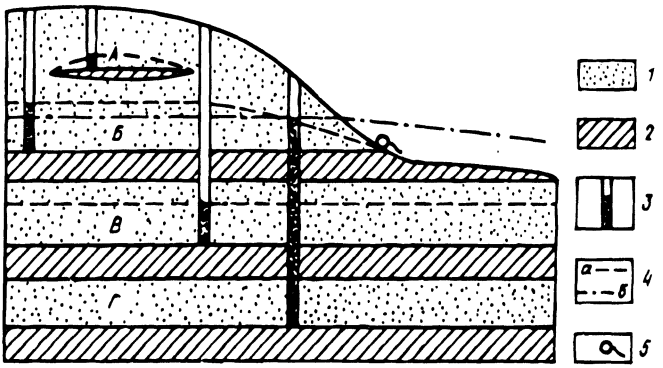


Рис. 4.1 Схема условий залегания подземных вод:
А — верховодка; *Б* — грунтовые воды; *В* — безнапорные межпластовые воды; *Г* — напорные воды; *1* — проницаемые породы; *2* — водоупорные породы; *3* — буровая скважина; *4* — уровень воды (*а* — свободный, *б* — пьезометрический); *5* — источник

Воды первого от поверхности сплошного водоносного горизонта называются грунтовыми. Линзообразные скопления воды на водоупорах или слабопроницаемых слоях, имеющие локальное распространение, образуют верховодку, которая расположена над грунтовыми водами.

Грунтовые воды — это, как правило, воды безнапорные, хотя на отдельных участках могут приобретать местный напор;

залегают они обычно на небольшой глубине и поэтому подвергаются воздействию гидрометеорологических факторов. В зависимости от сезона, количества осадков и температуры изменяются как уровень грунтовых вод, так и их химический состав.

Питание грунтовых вод происходит посредством инфильтрации атмосферных осадков и речных вод, а в некоторых случаях за счет поступления напорных вод из нижележащих горизонтов. Вследствие неглубокого залегания и отсутствия водоупорных покрытий грунтовые воды могут легко подвергаться загрязнению. Условия залегания этих вод очень разнообразны.

Напорные воды заключены между водонепроницаемыми слоями. В буровой скважине, вскрывшей напорный водоносный горизонт, вода поднимается выше кровли этого горизонта. Если напорный (пьезометрический) уровень расположен над поверхностью земли, то скважина фонтанирует. Поэтому для получения самоизливающейся воды скважины необходимо бурить на участках с пониженным рельефом.

Проницаемый пласт, ограниченный двумя водоупорами, может не быть заполнен водой. При этом образуются полунапорные или безнапорные межпластовые воды. Напорные воды зачастую называют артезианскими независимо от того, изливаются эти воды на поверхность или нет.

Водоносный горизонт является напорным, если он имеет область питания, расположенную на более высоких отметках, чем водоупорная кровля этого горизонта.

При откачке воды из скважины вокруг нее образуется депрессионная воронка. В безнапорных водах эта воронка отражает понижение уровня воды вокруг скважины и осушение части водоносного горизонта. В напорном горизонте образуется депрессия пьезометрической поверхности — снижение давления в определенной зоне вокруг скважины.

Артезианские воды залегают обычно на более или менее значительной глубине. От поверхности они изолированы водоупорными слоями и поэтому менее подвержены загрязнению, чем грунтовые воды. Оценивая возможность использования подземных вод, определяют их естественные и эксплуатационные запасы. Под естественными запасами подземных вод подразумевается количество подземных вод, находящихся в водоносных породах, не нарушенных эксплуатацией водозаборных сооружений; под эксплуатационными — их расход, который может быть получен на месторождении с помощью рациональ-

ных в технико-экономическом отношении водозаборных сооружений при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям потребителей в течение расчетного срока водопотребления. Они составляют часть естественных запасов.

Эксплуатационные запасы подземных вод при проектировании водозаборных сооружений подсчитывают по результатам проведенных на месторождении детальных гидрогеологических работ. При эксплуатации водоносного горизонта нарушаются естественный режим и баланс подземных вод, вследствие чего в области отбора воды возникает зона пониженного давления, и таким образом создаются благоприятные условия для вовлечения в данный эксплуатируемый водоносный горизонт дополнительных ресурсов: переток воды из смежных водоносных пластов, разделенных слабопроницаемыми слоями; инфильтрация атмосферных осадков; фильтрация из поверхностных водотоков и водоемов; искусственное регулирование режима подземных вод и др. В зависимости от степени разведанности эксплуатационных запасов, сложности гидрогеологических и гидрохимических условий, однородности фильтрационных свойств водовмещающих пород устанавливают категорию подземных вод.

4.1.2. Типы водозаборов подземных вод, условия их применения

Выбор типа сооружений и схемы их размещения зависит от глубины залегания водоносного пласта, его мощности и водообильности, условий залегания, геологических и гидрологических условий. Сооружения, применяемые для захвата подземных вод, подразделяются на следующие группы: скважины, шахтные колодцы, горизонтальные водозаборы, лучевые водозаборы, каптаж источников.

Водозаборные скважины и шахтные колодцы широко применяют при эксплуатации как безнапорных, так и напорных подземных вод. Шахтные колодцы используют чаще при небольших объемах потребления и глубине залегания подземных вод до 20–30 м. Эффективное использование водозаборных скважин возможно при глубине подошвы водоносного слоя более 8–10 м и при минимальной его мощности 1–2 м. Эффективность их применения возрастает с глубиной залегания вод: при этажном залегании водоносных горизонтов, когда один

или несколько из них являются источниками водоснабжения, скважины становятся незаменимыми.

Горизонтальные водозаборы могут применяться при неглубоком залегании водоносного пласта небольшой мощности. Зачастую их использование позволяет добиться более высокого эффекта в заборе воды, чем использование вертикальных водозаборов. Горизонтальные водозаборы в виде дренажных труб и галерей, применяемые для захвата грунтовых вод, укладывают в вырытые канавы и располагают на глубине не более 5–8 м. Горизонтальные лучевые водозаборы пробуривают из центральной шахты — камеры и чаще применяют для захвата грунтовых вод, а в последнее время — и для захвата напорных вод на глубине 20–30 м. Каптажные сооружения предназначены для приема воды из восходящих и нисходящих источников (ключей, родников). В зависимости от условий выхода на поверхность земли из водоносного горизонта каптажи могут иметь различную конструкцию: в виде дренажных труб со сборным колодцем и камерой, одной каптажной камеры, а иногда в виде шахты с отводной трубой. Такие сооружения на территории России встречаются сравнительно редко.

4.1.3. Забор подземных вод с помощью буровых скважин

Забор подземных вод с помощью буровых скважин — наиболее распространенный способ в практике водоснабжения, так как отличается универсальностью и техническим совершенством. Он используется в широком диапазоне глубин залегания подземных вод.

Скважины, устраиваемые путем бурения, предназначены для приема как напорных, так и безнапорных подземных вод, залегающих на глубине более 30 м. Скважины располагают перпендикулярно направлению потока подземных вод. При самоизливающихся скважинах вода отводится самотеком в сборный резервуар, а затем перекачивается либо на очистные сооружения, либо потребителям. При глубоком залегании динамического уровня скважины оборудуют артезианскими насосами или эрлифтами.

Схема транспортирования воды от скважин зависит от способа ее получения. Наибольшее распространение получили напорные сборные водоводы, что вызвано использованием скважинных систем, оборудованных погружными насосами. Само-

течные системы сборных водоводов применяются при заборе воды из каптажей, самоизливающихся скважин, а также из скважин, оборудованных насосными установками или эрлифтами. Преимущество этих систем заключается в возможности использования безнапорных труб. При подаче воды из водосборных сооружений в самотечную сеть работа каждой насосной станции не зависит от работы других и может быть отрегулирована без учета из взаимодействия.

Водозаборная скважина в соответствии с требованиями бурения и геологии (рис. 4.2) имеет телескопическую конструкцию. Самая нижняя часть скважины служит отстойником. Над отстойником находится водоприемная часть скважины — фильтр, через который вода из водоносного пласта попадает в ее рабочую зону. Тип фильтра и его конструкцию выбирают в зависимости от водоносной породы. Выше водоприемной части скважины располагают колонны эксплуатационных и обсадных труб, которые, с одной стороны, удерживают стенки скважины от обрушения, а с другой — служат для размещения в них водоподъемных труб и насосов. Над эксплуатационной колонной находится кондуктор, который задает направление проходящей через него трубе при бурении. Вокруг кондуктора устраивается цементный или глиняный замок, защищающий водоносный горизонт от загрязнений, попадающих с поверхности через затрубное пространство обсадных труб. Верхняя часть скважин называется устьем или оголовком. Оголовок в зависимости от заглубления может располагаться как в павильоне, так и в колодце, где находится механическое и электрическое оборудование.

Организация буровых скважин зависит от вида водоносных горизонтов, глубины их залегания, вида пробуриваемых пород, их агрессивности, диаметра скважины и способа бурения. В практике сооружения скважин на воду получили распространение следующие способы бурения: вращательный с прямой промывкой, вращательный с обратной промывкой, вращательный с продувкой воздухом, ударно-канатный, реактивно-турбинный и комбинированный.

Ударно-канатный способ применяют при бурении скважин на глубину до 150 м в рыхлых и скальных породах и начальном диаметре скважины более 500 мм. Стенки скважин крепят трубами непрерывно по мере углубления забоя.

Вращательное бурение по характеру углубления подразделяется на бурение кольцевыми и сплошными забоями. Бурение кольцевым забоем называется колонковым, сплошным — ро-

торным. Колонковый способ применяется в скальных породах при диаметре скважин до 150–200 мм, при глубине бурения до 150 м. Для бурения скважин больших диаметров и глубиной более 500–1000 м рекомендуется реактивно-турбинный способ. Комбинированный способ (ударно-канатный и роторный) используется для бурения скважин глубиной более 150 м при безнапорных и слабонапорных водоносных горизонтах, представленных рыхлыми отложениями. Способ промывки зависит от вида проходимых грунтов. В качестве промывных растворов используются вода и глинистые растворы.

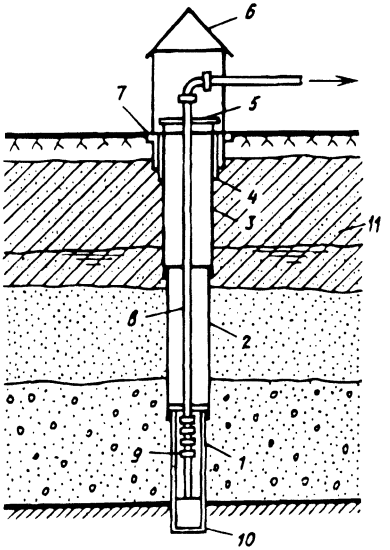


Рис. 4.2. Водозаборная скважина:
1 — фильтр скважины; *2* — эксплуатационная колонна; *3* — колонна обсадных труб; *4* — кондуктор; *5* — устье скважины (оголовок); *6* — павильон; *7* — цементный или глиняный замок; *8* — насосные (водоподъемные) трубы; *9* — насос с погружным электродвигателем; *10* — отстойник; *11* — статический уровень воды

При выборе способа бурения учитываются не только технологичность метода и скорость проходки, но и обеспечение условий, гарантирующих минимальную деформацию пород в призабойной зоне.

Для подъема воды из скважин используют водоподъемное оборудование различных типов. Насосные установки типа ЭЦВ применяют для оборудования скважин глубиной 10–700 м и более. Они могут работать в искривленных скважинах при разно-

образных гидрогеологических условиях. Насосные установки с трансмиссионным валом применяют для скважин глубиной до 120 м, они могут работать только в вертикальных скважинах. Воду при расчетном динамическом уровне не более 5–6 м от поверхности земли можно забирать горизонтальными насосами. Для подъема воды из скважин используют эрлифты, позволяющие поднимать воду из искривленных скважин, а также воду, содержащую механические примеси в количествах, превышающих пределы, установленные для насосов других типов.

Над устьем водозаборных скважин строят павильоны для размещения оголовка скважины, электродвигателя, горизонтального центробежного насоса, приборов пусковой и контрольно-измерительной аппаратуры и приборов автоматики. Кроме того, в них располагают части напорного трубопровода, оборудованного затворами, обратным клапаном, вантузом, пробоотборным краном. Каждую скважину оборудуют расходомером.

Ответственной частью скважины является фильтр. От правильно и надежно устроенного фильтра в значительной степени зависит качество работы водозаборного сооружения. Фильтры предусматривают в рыхлых, неустойчивых, скальных и полускальных породах. В зависимости от характера водовмещающих пород и глубины скважины наиболее часто применяют фильтры: пористые, щелевые, проволочные, сетчатые, каркасно-стержневые, штампованные, гравийные.

Фильтр состоит из рабочей (водоприемной) части, надфильтровых труб и отстойника. Длина надфильтровых труб зависит от конструкции скважины. Если фильтр располагается на колонне, то надфильтровые трубы являются ее продолжением. При меньшем диаметре надфильтровые трубы входят внутрь эксплуатационной колонны не менее чем на 3 м при глубине скважины до 50 м и не менее чем на 5 м при большей глубине. В зазор, образовавшийся между ними, устанавливается сальник из резины, пеньки, цемента и др. При определенных условиях роль сальника выполняет слой гравия, засыпанного между эксплуатационной колонной и фильтром. Высота отстойников в фильтрах, как правило, принимается 0,5–2 м.

Наибольшее распространение нашли частицезадерживающие фильтры, которые включают фильтры-каркасы и фильтры с дополнительной водоприемной поверхностью. В этих конструкциях эффект предотвращения пескования достигается подбором размера отверстия в корпусе фильтра относительно размера частиц водоносных пород или гравийной обсыпки.

Фильтры с отклонителем гравия характеризуются наличием таких элементов водоприемной поверхности, при которых исключается прямое наложение водоносных пород или гравийных частиц на фильтр.

В гравитационных фильтрах устраивают широкие водоприемные отверстия, в которых грунт удерживается от выноса под действием силы тяжести.

Основными элементами фильтра являются опорный каркас и водоприемная поверхность. Каркас обеспечивает необходимую механическую прочность и служит поддерживающей конструкцией для фильтрующей поверхности. СНиП 2.04.02-84* рекомендуют следующие типы каркасов: стержневые, трубчатые с круглой и щелевой перфорацией, штампованные из стального листа. В качестве фильтрующей поверхности применяют проволочную обмотку, штампованный лист, штампованный лист с одной- или двухслойной песчано-гравийной обсыпкой, сетки квадратного и галунного плетения. При заборе небольших количеств воды могут применяться фильтры из пористого бетона.

Конструкции фильтров приведены на рис. 4.3. Диаметр фильтров определяют исходя из дебита скважины, параметров водоподъемного оборудования и скорости движения воды в водоподъемных трубах, которая принимается не более 1,5–2,0 м/с. Минимальный диаметр фильтра пронимают равным 100–150 мм с учетом возможности проведения ремонта. Фильтр устанавливают на расстоянии не менее 0,5–1 м от кровли подошвы пласта.

Водозаборные скважины используют для забора как напорных (рис. 4.4), так и безнапорных подземных вод. Различают скважины двух типов: совершенные и несовершенные. Под совершенной понимается такая скважина, которая вскрывает водоносный горизонт до подстилающего водоупорного пласта. Если скважина заканчивается в толще водоносного пласта, то она называется несовершенной.

Основная задача проектирования состоит в выборе рационального типа и схемы скважинной системы, т. е. в определении оптимального числа скважин, расстояний между ними, их взаимного расположения на местности, конструкций фильтра, диаметров и трассировки трубопроводов, характеристик насосного оборудования с учетом возможного понижения уровня воды в скважинах. Указанные задачи решают на основе гидрогеологических расчетов по определению дебита скважин и понижения уровня воды в процессе эксплуатации, а также оценки взаимного влияния отдельных скважин при совместной их работе.

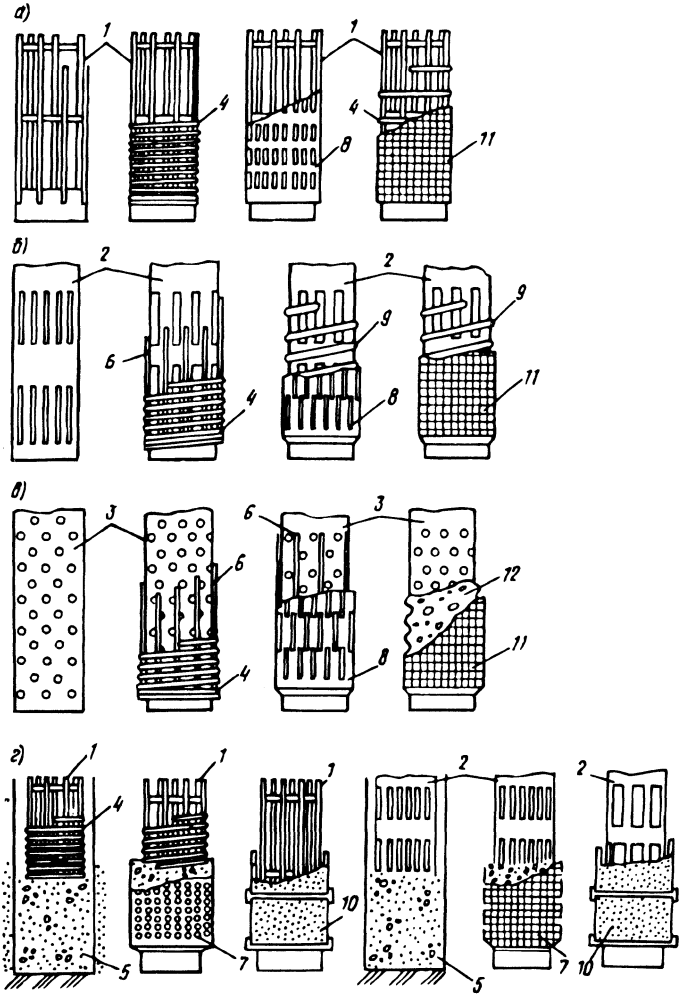


Рис. 4.3. Основные схемы конструкций фильтров водозаборных скважин:

а, *б*, *в* — на основе стержневых каркасов, трубчатых каркасов со щелевой перфорацией и трубчатых каркасов с круглой перфорацией; *г* — гравийные; *1* — стержневой каркас на опорных кольцах; *2* — щелевой трубчатый каркас; *3* — трубчатый каркас с круглой перфорацией; *4* — проволочная обмотка из нержавеющей стали; *5* — рыхлая обсыпка; *6* — опорные проволочные стержни под проволочную обмотку и лист; *7* — гравийная обсыпка в кожухе; *8* — лист, штампованный из нержавеющей стали; *9* — опорная проволочная спираль; *10* — гравийный блок; *11* — сетка из нержавеющей стали или латуни; *12* — сетка подкладная синтетическая

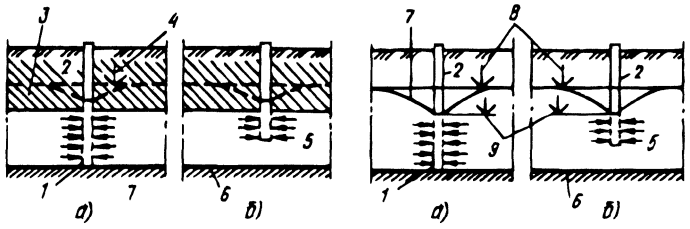


Рис. 4.4 Схема притока воды к скважине:
а — совершенная скважина; *б* — несовершенная скважина; *1* — фильтр; *2* — колодец; *3* — водонепроницаемый пласт (кровля); *4* — напорная плоскость; *5* — водоносный пласт; *6* — водоупор; *7* — депрессионная кривая; *8* — статический уровень воды; *9* — уровень воды при откачке

Одновременно с решением этих вопросов уточняют схемы расположения водозаборных скважин, их число и тип. При проведении гидрогеологических расчетов в качестве исходной величины принимают дебит, соответствующий заданному водопотреблению, или максимальный дебит, который может быть получен. В обоих случаях расчетами устанавливают размеры водозаборных сооружений (глубину, диаметр), число, расположение и дебит скважин при заданной длительности эксплуатации и максимально допустимых понижениях уровня воды. На основании вариантных гидрогеологических расчетов рассматриваемых схем выбирают оптимальную.

Гидрогеологические расчеты водозаборных сооружений проводят на основе законов фильтрации. Рассмотрим общие расчетные зависимости для определения расхода воды водозаборного сооружения. Дебит скважин в водоносных пластах может быть найден по следующим зависимостям:

напорных — $Q = 2\,\pi\,kmS_{доп}/R$;

безнапорных — $Q = 2\,\pi\,kS_{доп}\,(2h_e - S_{доп})/R$,

где km —водопроводимость эксплуатируемого пласта (здесь k — коэффициент фильтрации; m — мощность пласта); $S_{доп}$ — максимальное допустимое понижение уровня подземных вод; h_e — естественная мощность грунтового потока; $R = R_0 + \beta\xi$ — фильтрационное сопротивление, зависящее от гидрогеологических условий и типа водозаборного сооружения (здесь R_0 — гидравлическое сопротивление R в точке расположения скважины; ξ — дополнительное сопротивление, учитывающее фильтрационное несовершенство скважины; $\beta = Q_0/Q$ — отношение расхода рассматриваемой скважины Q_0 к общему расходу водозабора Q).

Величины R, R_0 и ξ могут быть определены только при той или иной степени детализации гидрогеологической обстановки.

Допустимое понижение уровня воды в скважине $S_{доп}$ определяется по данным опытных откачек. Приближенно допустимое понижение уровня воды можно определить следующим образом:

безнапорных — $S_{доп} \approx (0{,}5—0{,}7)\ h_e — \Delta h_{нас} — \Delta h_ф$;

напорных — $S_{доп} \approx H_e — [(0{,}3—0{,}5)\ m + \Delta H_{нас} + \Delta H_ф]$,

где h_e и H_e — соответственно первоначальная глубина воды до водоупора (в безнапорных горизонтах) и напор над подошвой горизонта (в напорных пластах); $\Delta h_{нас}$ и $\Delta H_{нас}$ — максимальная глубина погружения насосов (нижней его кромки под динамический уровень в скважине); $\Delta h_ф$ и $\Delta H_ф$ — потери напора на входе в скважину; m — мощность напорного пласта.

4.1.4. Шахтные колодцы

Шахтные колодцы (рис. 4.5) представляют собой вертикальную выработку, поперечное сечение которой имеет большие размеры по сравнению со скважинами. Применение шахтных колодцев ограничено эксплуатацией водоносных горизонтов, залегающих на небольших глубинах — обычно 20—30 м.

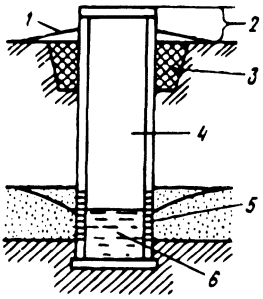


Рис. 4.5. Схема шахтного колодца:
1 — отмостка; *2* — оголовок; *3* — замок; *4* — ствол шахты; *5* — водопроводная часть; *6* — зумпф

Колодцы используются для забора воды из безнапорных или малонапорных водоносных пластов в системах водоснабжения небольших промышленных предприятий и населенных пунктов. Они состоят из следующих конструктивных элементов: оголовка, ствола, водоподъемной части и водосборной части — зумпфа. Оголовок служит для защиты колодца от попадания в него загрязненных вод и поэтому должен возвышаться над поверхностью не менее чем на 0,8 м. Сверху он перекрывается крышкой, а вокруг колодца устраивают глиняный замок на глубину 1,5 м и отмостку для отвода воды.

По условиям забора воды из водоносного пласта колодцы подразделяют на работающие дном, стенками и одновременно дном и стенками. Способ приема воды, а также вид и состав пород водоносного пласта определяют то или иное устройство водопроницаемой фильтрующей поверхности колодца. Дно колодца при приеме воды через него оборудуют гравийным фильтром или плитой из пористого бетона. В стенках колодца при приеме воды через них должны быть устроены специальные окна, заполненные гравийным фильтром или пористым бетоном.

Зумпф предусматривается при необходимости создания в колодце некоторого запаса воды.

По виду материала шахтные колодцы бывают деревянными, из каменной и кирпичной кладки, а также бетонными и железобетонными. Последние лучше всех других соответствуют санитарным требованиям и более долговечны, поэтому в практике водоснабжения в настоящее время применяются в основном колодцы из железобетонных колец (рис. 4.6).

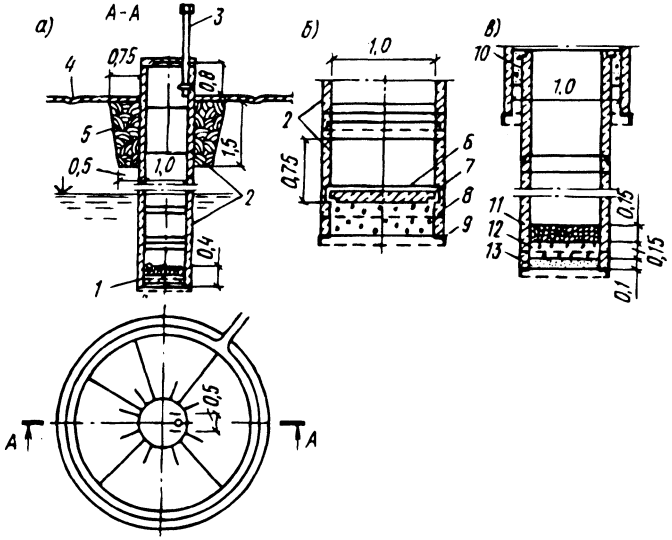


Рис. 4.6. Конструкция шахтного колодца из сборных железобетонных колец:

а — план и разрез; *б* — деталь водоприемной части; *в* — телескопическая конструкция колодца; *1* — фильтр; *2* — кольца; *3* — вентиляционная труба; *4* — щебеночное крепление; *5* — глиняный замок; *6* — донная плита из пористого бетона; *7* — вкладыши из пористого бетона; *8* — гравийная подсыпка; *9* — металлическое кольцо опускного приспособления; *10* — тампон из бетона; *11* — щебень; *12* — гравий; *13* — песок

При необходимости получения значительных количеств воды устраивают несколько колодцев, расположенных в ряд перпендикулярно подземному потоку воды. Вода из каждого колодца поступает по трубопроводам в сборный колодец, откуда перекачивается в водонапорную башню или на очистные сооружения.

4.1.5. Горизонтальные водозаборы

Горизонтальные водозаборы (рис. 4.7) представляют собой водосборную траншею или водосборную галерею, оборудованную для приема воды из водоносного пласта и отвода воды в место расположения водозаборных устройств. Они позволяют эксплуатировать маломощные водоносные пласты. Горизонтальные водозаборы особенно эффективны при расположении вблизи рек, озер и водохранилищ. Они появились значительно раньше вертикальных водозаборов в странах с засушливым климатом.

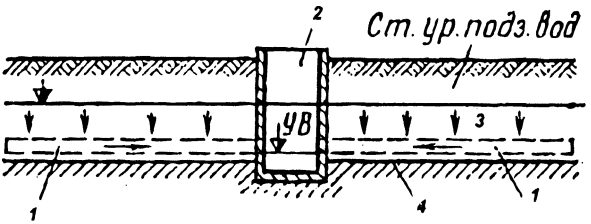


Рис. 4.7. Горизонтальный водозабор:
1 — горизонтальные водосборы; *2* — сборный колодец; *3* — водоносный пласт; *4* — водоупор

Горизонтальные водозаборы устраивают при глубине залегания водоносных пород до 8 м. При значительной длине водозаборов через каждые 50 м устраивают смотровые колодцы, предназначенные для осмотра, очистки, вентиляции, ремонта и взятия проб воды.

Водосборные колодцы, куда поступает собранная вода, оснащаются насосными установками. В них производят замер дебита, отбор проб, осаждают взвешенные частицы.

Вид устройств для захвата воды зависит от гидрогеологических и инженерных условий. Простейшим типом горизонтального водозабора является открытый дренажный канал — водосборник. Он применяется для промышленного водоснабжения

и строится в виде открытой траншейной выработки, откосы которой оборудованы песчано-гравийным фильтром.

При заборе небольших количеств воды для мелких потребителей и временного водоснабжения, а также при глубине залегания подземных вод 2–3 м от поверхности земли применяют траншейные водозаборы. Каменно-щебеночный водозабор (рис. 4.8, *а*) выполняют в траншее, укладывая фильтрующие материалы, размер которых увеличивается к середине траншеи. Сверху его покрывают слоем глины, а затем вынутым из траншеи грунтом.

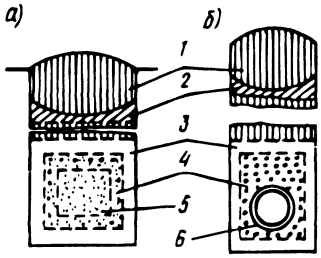


Рис. 4.8. Траншейные водозаборы:
а — каменно-щебеночный; *б* — трубчатый горизонтальный; *1* — обратная засыпка траншеи местным грунтом; *2* — глина; *3* — крупные пески; *4* — гравий; *5* — рваный камень; *6* — дренажная труба

Трубчатые горизонтальные водозаборы (рис. 4.8, *б*) устраивают при глубине залегания подземных вод до 4–5 м. В отличие от каменно-щебеночного водозабора водоприемную часть выполняют из керамических, асбестоцементных, железобетонных, бетонных и пластмассовых труб, которые обсыпают фильтрующим материалом. В водоприемных трубах устраивают круглые и щелевые отверстия, расширяющиеся внутрь трубы, а в трубах больших диаметров — окна-ниши. В остальном устройство этого водозабора аналогично устройству водозаборов предыдущего вида. При использовании труб из пористого бетона и полимербетона не нужна фильтрующая обсыпка или достаточно устройства одного ее слоя.

Водозаборные галереи (рис. 4.9) строят при глубинах залегания подземных вод до 6–8 м от поверхности при любых геологических и гидрогеологических условиях для крупных потребителей в ответственных системах водоснабжения. Галерею водозабора выполняют из сборных оваловидных или прямоугольных железобетонных звеньев, имеющих ширину 0,8–1 м и высоту 1,2–2 м, с учетом возможности прохода по галерее. Лоток в ниж-

ней части при глубине не более 0,5 м и ширине 0,2–0,4 м обеспечивает сток собранной воды к месту ее сбора при скоростях, исключающих выпадение взвешенных частиц. В настоящее время разработаны водосборные галереи с водоприемными элементами из пористого бетона.

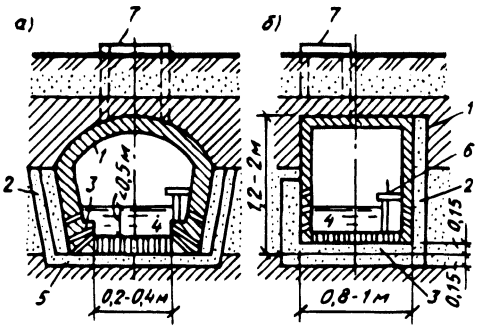


Рис. 4.9. Водозаборная галерея овалovидной (*а*) и прямоугольной (*б*) форм:

1 — железобетонные сборные звенья галереи; *2* — песчано-гравийный обратный фильтр; *3* — водоприемные отверстия; *4* — лотковая часть галереи; *5* — песчано-гравийная подготовка основания галереи; *6* — мостик для прохода эксплуатационного персонала; *7* — смотровой (вентиляционный) колодец

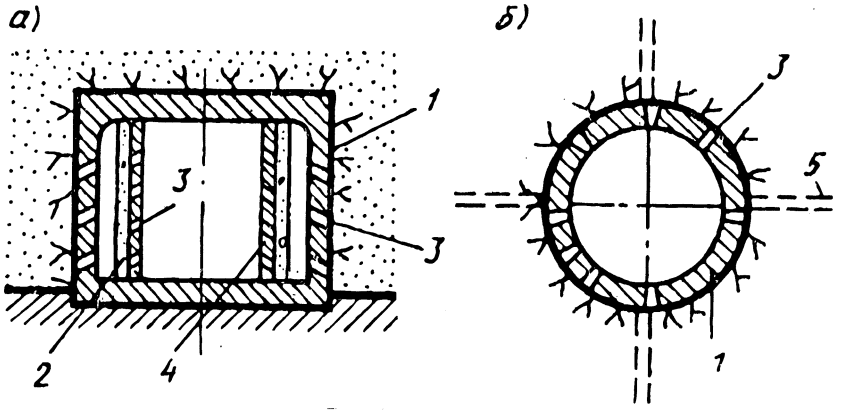


Рис. 4.10. Водосборная штольня прямоугольной формы с внутренним песчано-гравийным обратным фильтром (*а*) и круглой (овальной) формы с радиальными скважинами-усилителями (*б*):

1 — железобетонная обделка штольни; *2* — песчано-гравийный обратный фильтр; *3* — водоприемные окна; *4* — удерживающая стена (решетка) с сеткой; *5* — шпуры или скважины с фильтром

При глубинах более 8 м возможно применение горизонтального водозабора в виде водосборной штольни прямоугольной или круглой конфигурации (рис. 4.10). В отличие от галерей штольни строят подземным (тоннельным) способом проходки. Оборудование штольни аналогично оборудованию галереи. При необходимости повышения водопритока в стенах штольни бурят радиальные шурфы или скважины с фильтром.

4.1.6. Лучевые водозаборы

Лучевые водозаборы — это система горизонтальных или наклонных скважин, которые собирают воду из водоносного пласта и отводят ее в центральную водосборную камеру (шахту), откуда ведется откачка. Водозабор этого типа устраивают как в маломощных пластах (до 5 м), так и в пластах мощностью до 20 м, кровля которых находится на глубине до 15–20 м от поверхности земли.

В зависимости от условий расположения лучевые водозаборы бывают различных типов (рис. 4.11):

подрусловой — под дном реки (с шахтой на берегу или в русле);

береговой — при расположении лучевого водозабора на берегу недалеко от реки;

комбинированный — когда водозабор находится на берегу реки, а лучевые фильтры — как в береговой зоне, так и под руслом;

водоразделенный — при расположении лучевого водозабора вдали от источников питания.

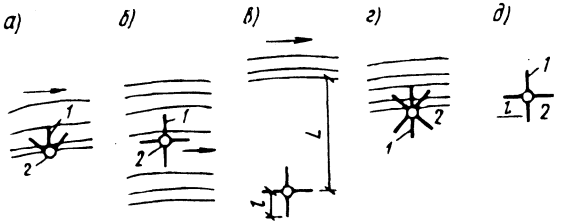


Рис. 4.11. Схемы лучевых водозаборов в плане:
а, *б* — подрусловой с водозаборной шахтой соответственно на берегу и в русле реки; *в* — береговой; *г* — комбинированный; *д* — водораздельный; *1* — горизонтальные радиальные скважины; *2* — водосборный колодец (шахта)

В зависимости от способа устройства сборного колодца и расположения лучей в водоносном пласте они подразделяются на водозаборы с горизонтальными, наклонными восходящими и нисходящими, а также многоярусными скважинами. Они могут быть комбинированными, если предусматривается устройство как наклонных лучей — скважин, так и горизонтальных.

Приемный колодец, расположенный в центральной части водозабора, предназначен не только для приема воды и установки соответствующего насосного оборудования, но и для проведения работ по устройству лучей скважин. Обычно колодец устраивают опускным способом, в особо тяжелых условиях — кессонным способом. Его высота зависит от глубины залегания водоупорного пласта, а также от глубины заложения лучей. Внутренний диаметр колодца принимается в пределах 1,5–6 м в зависимости от оборудования для устройства лучей и условий эксплуатации. Колодцы выполняют из сборного и монолитного железобетона, а для колодцев малых диаметров можно использовать стальные трубы.

Число лучевых скважин, их длина, направление и глубина расположения назначаются в зависимости от гидрогеологических, строительных, инженерных и эксплуатационных условий.

Существуют различные способы устройства горизонтальных лучей-скважин. Для большинства этих способов применяется метод продавливания отдельных звеньев труб с помощью домкратов, устанавливаемых в шахте. Учитывая метод производства работ по прокладке дрен, не рекомендуется устройство лучевых водозаборов в водоносных грунтах из крупного галечника, с вкраплениями валунов или подверженных сильной кольматации.

Длину вдавливаемых звеньев, определяемую размерами шахты, принимают равной 1–2,5 м. Диаметр вдавливаемых труб составляет 50–300 мм, а полная длина луча — 5–80 м. Подъем воды из колодцев (шахт) лучевых водозаборов осуществляют горизонтальными или вертикальными насосами, кроме того, возможно использование вакуумных систем с подключением вакуум-насосов к устью горизонтальных скважин. Последнее особенно важно для водозаборов, работающих в грунтах с низкой водоотдачей и в маловодообильных пластах.

На рис. 4.12 приведена схема лучевого водозабора, расположенного на берегу реки. Он состоит из бетонного шахтного колодца и системы горизонтальных скважин. Оптимальное число лучей принимают равным 3–7. При выборе основных параметров

лучевого водозабора необходимо учитывать, что его дебит не пропорционален увеличению длины лучей. Увеличение приводит к росту гидравлических сопротивлений, уменьшающих дебит водозабора. Однако взаимовлияние лучей с ростом их длины уменьшается. Изменение диаметра лучевых дрен и наружного диаметра водосборного колодца оказывает меньшее влияние на дебит водозабора, чем изменение длины, числа и заглубления дрен.

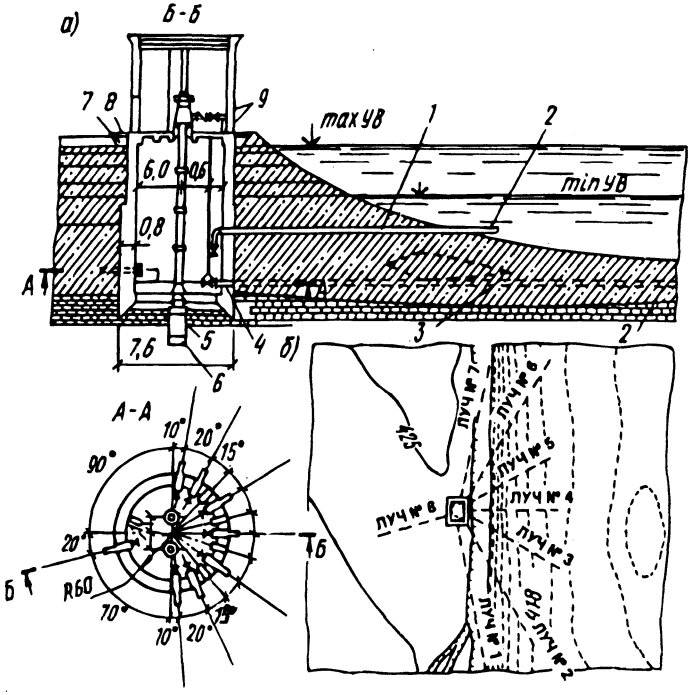


Рис. 4.12. Лучевой водозабор на берегу реки:
а — план и разрез; *б* — общая схема; *1* — глухая труба; *2* — конец трубы с буровой головкой; *3* — перфорированная стальная труба; *4* — закладной патрубок; *5* — обсадная труба; *6* — бетонная пробка; *7* — шлак; *8* — покрытие (асфальт 3 см, песок 10 см, гравий 10 см); *9* — бетонная опора под водовод

4.1.7. Каптаж подземных вод

Ключи и родники являются выходами подземных вод на поверхность земли. Условия выхода источников весьма разнообразны. Для использования родниковой (ключевой) воды, отличающейся высокими показателями качества, применяют каптажные

сооружения. Типы и конструкции их зависят от гидрогеологических условий выхода родников, мощности источника, топографии и других факторов. При рассредоточенном выходе воды вдоль фронта потока каптаж осуществляется с помощью горизонтальных водозаборов каменно-щебеночного или галерейного типа, при сосредоточенном — с помощью водосборных камер.

В зависимости от условий выхода на поверхность родники бывают двух типов — восходящие и нисходящие. Нисходящие источники образуются в местах выхода на поверхность водоносных пластов, лежащих на водонепроницаемых породах; это происходит на склонах горных возвышенностей и долин рек, оврагов и балок.

Восходящие родники образуются при выходе напорных вод в местах нарушения целостности перекрывающих их водонепроницаемых пластов. При нисходящих родниках каптажное сооружение располагается перед местом их интенсивного выхода. При каптаже восходящих родников водозаборное сооружение располагается над выходом источника. Каптажные сооружения располагаются над выходом источника, они должны строиться в местах, где нет опасности возникновения обвалов, провалов, размыва и оползней во избежание попадания в каптаж загрязнений, затопления места его расположения, а также промерзания.

Типовой проект, разработанный ПО «Интервод», для каптажа нисходящих родников из водоносных пластов, представленных гравийно-галечниковыми и трещиноватыми породами, приведен на рис. 4.13, *а*. Сооружение выполняют в виде камеры, имеющей железобетонное перекрытие и днище, стены — из железобетонных колец. Вода в водоприемную камеру поступает через водоприемные отверстия, обсыпанные гравийным фильтром. С обеих сторон камеры устраивают водоулавливающие стенки из плотно утрамбованного глинистого грунта. Пространство, образованное стенками, перед входными окнами заполняют песком. Камеру оборудуют расходной, переливной и вентиляционными трубами. В тех случаях, когда мощность водоносного пласта незначительна, а водоупорный пласт расположен близко к поверхности, днище каптажа заглубляют в подошву пласта. Величину заглубления определяют исходя из расположения расходной трубы в вертикальной плоскости; над трубой образуется слой воды, обеспечивающий напор, достаточный для дальнейшего ее транспортирования. Для максимального использования водоносного пласта необходимо, чтобы уровень воды в каптажной камере не превышал отметки подошвы пласта.

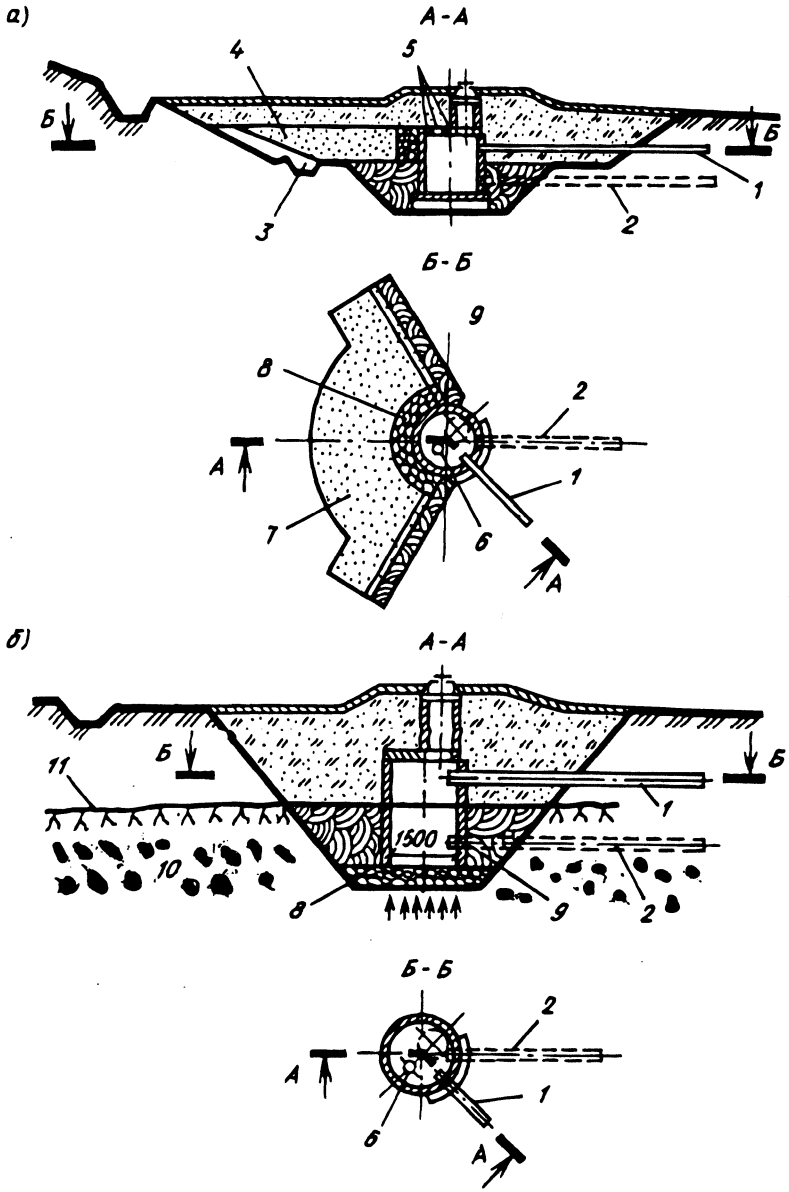


Рис. 4.13. Каптаж нисходящих (*а*) и восходящих (*б*) родников:
1, 2 — переливная и расходная трубы; *3* — гравийная пригрузка; *4* — водоносный пласт; *5* — водоприемные отверстия; *6* — вентиляционная труба; *7* — песчаная засыпка; *8* — гравийная отсыпка; *9* — плотно утрамбованный глинистый грунт; *10* — водоносный пласт; *11* — водоупор

Каптаж воды из восходящих родников производится через дно каптажного сооружения. Типовой проект такого устройства приведен на рис. 4.13, *б*. Оно также выполнено из сборных железобетонных элементов. В основании камеры лежит фильтрующий материал из гравия, гальки, щебня. Подбор фильтрующего материала производят из условий, исключающих вынос мелких частиц в приемную камеру. В том случае, если вода из каптажных камер не может быть подана потребителю самотеком, применяют насосные установки. Дебит каптажей определяется на основе наблюдений за режимом подземных вод.

4.2. Сооружения для забора поверхностных вод

4.2.1. Основные определения и классификация сооружений

Водозаборным сооружением (или водозабором) называют комплекс гидротехнических сооружений, служащих для забора воды из источника водоснабжения, ее предварительной очистки (обычно процеживанием воды через сетки) и подачи под необходимым напором в водоводы (к потребителю или на очистные сооружения системы водоснабжения).

Водоприемником называют сооружение, которое предназначено для приема воды и непосредственно взаимодействует с речным потоком или водоемом.

Водозаборные сооружения — одни из ответственных и дорогих сооружений системы водоснабжения. Снабжение водой потребителей в значительной степени зависит от бесперебойного функционирования водозаборных сооружений соответствующей мощности, что возможно только при осуществлении водозабора с учетом всех природных условий водоисточника.

Водозаборные сооружения классифицируют: *по назначению* — хозяйственно-питьевого или производственного водоснабжения; *по роду водоисточника* — речные, морские, водохранилищные; *по месту расположения водоприемника* — береговые и русловые; *по производительности* — малой ($Q_в < 1$ м^3/с), средней ($Q_в = 1–6$ м^3/с) и большой ($Q_в > 6$ м^3/с) производительности ($Q_в$ — производительность водозабора); *по степени обеспеченности подачи воды* — I, II и III категории; *по компоновке основных сооружений водозабора* — совмещенные (компонуются в одном сооружении) и раздельные (комплекс сооружений); *по степени стационарности* — стационарные и нестационарные (плавучие, фуникулерные, передвижные).

Водозаборы для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения действуют в течение всего года и, как правило, не допускают перерывов в подаче воды. По характеру водопотребления и требуемой обеспеченности подачи воды водозаборные сооружения разделяют на три категории (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Категории водозаборных сооружений

Категория водозаборных сооружений	*Характеристика обеспеченности подачи воды*	*Обеспеченность, %*		
		расчетного расхода воды в водоисточнике	*расчетного уровня воды в водоисточнике*	
			максимального	*минимального*
I	Допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30 % расчетного расхода воды и на производственные нужды до предела, устанавливаемого аварийным графиком работы предприятий; длительность снижения подачи не должна превышать 3 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается не более чем на 10 мин	95	1	97
II	Допускаемое снижение подачи воды — то же, что при I категории; длительность снижения подачи — не более 10 сут. Перерыв в подаче воды или снижение ниже указанного предела — до 6 ч	90	3	95
III	Допускаемое снижение подачи воды — то же, что при I категории; длительность снижения подачи воды не должна превышать 15 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела — до 24 ч	85	5	90

Примечание. Объединенные хозяйственно-питьевые и производственные системы водоснабжения населенных пунктов при числе жителей в них более 50 тыс. чел. следует относить к I категории; от 5 до 50 тыс. чел. — ко II категории; менее 5 тыс. чел. — к III категории.

4.2.2. Требования, предъявляемые к водозаборам систем водоснабжения

Водозаборные сооружения должны обеспечивать подачу воды потребителю в необходимом объеме и требуемого качества при всех расходах и уровнях воды в реке, не меньших минимального расчетного.

Бесперебойность подачи воды при выбранной обеспеченности должна быть гарантирована при самых неблагоприятных возможных сочетаниях гидрологических, технологических, шуголедовых и других условий. Водозаборные сооружения должны: обеспечивать забор из водоисточника потребного расхода воды и подачу ее потребителю; защищать систему водоснабжения от попадания в нее сора, водорослей, планктона, биологических обрастателей, наносов, льда и т. п.; защищать молодь рыб от проникновения в водозаборные сооружения.

Надежность действия водоприемника в значительной степени определяет надежность функционирования всего водозабора в целом, поэтому водоприемник должен обеспечивать прием воды и в осложненных условиях: уменьшение глубин или расходов воды в русле реки; образование внутриводного льда и шуги; транспортирование потоком шуги, сора, наносов и т. п.; судоходство; лесосплав; переформирование русла или побережья водоема; наледеобразование, заторы льда и др.

Водозаборные сооружения хозяйственно-питьевого назначения должны удовлетворять санитарным требованиям. В местах расположения этих сооружений организовывают зоны санитарной охраны. Водозаборные сооружения должны быть прочными, долговечными, устойчивыми, простыми в строительстве, удобными в эксплуатации и экономичными. Их необходимо проектировать так, чтобы расположение, форма и размеры обеспечивали плавное обтекание речным потоком, наименьшее стеснение русла и не вызывали бы его переформирования.

4.2.3. Выбор места расположения и технологической схемы водозаборов

При проектировании водозаборов проводят: выбор места забора воды, технологической схемы, типа водозабора и оборудования; гидравлический расчет водозаборных сооружений.

При выборе места учитывают гидрологические, топографические, санитарные и экономические условия. Выбранное ме-

сто расположения водозабора должно быть как можно ближе к потребителю и обеспечивать требуемый расчетный расход воды, наиболее простой и дешевый способ ее забора.

Исходя из гидрологических условий водоприемные сооружения располагают в таких местах, где не осаждаются наносы и глубина реки больше, т. е. у вогнутых берегов. При этом надо учитывать, что вогнутые берега реки подвержены размыву и разрушению, а прямые участки ненадежны из-за образования на них перекатов. Водозаборные сооружения нельзя располагать у выпуклого берега, где происходит осаждение и движение наносов, в местах возможного образования шуги и подводного льда, в акватории движения судов, плотов, в зонах зимовья рыб и т. д.

Исходя из топографических условий водозаборы нельзя располагать в зоне затопления наземных сооружений паводковыми водами (за исключением крибов), в сейсмических и других районах, где возможны оползневые явления, в результате которых происходит разрушение сооружений.

Важное значение при выборе места водозабора имеют санитарные условия. Место забора воды для водопровода питьевого назначения должно находиться выше по течению реки от населенных пунктов, выше выпусков сточных вод, выше стоянок судов, барж. Запрещается размещение водозабора в акватории порта, ниже мест впадения рек, ручьев, оврагов, т. е. водозабор должен быть размещен выше мест возможного загрязнения реки. Запрещается устройство водозаборов вблизи кладбищ.

Водозабор должен иметь зону санитарной охраны, а проект ее и санитарные мероприятия, проводимые в зоне, должны быть согласованы с органами санитарно-эпидемиологической службы.

Технологическая схема водозаборных сооружений, обычно включающая водоприемник, водоочистной сеточный колодец и насосную станцию, выбирается соответственно требуемому расходу воды, категории водозабора, гидрологическим характеристикам водоисточника, топографическим и геологическим условиям, требованиям санитарной инспекции, организаций рыбоохраны и водного транспорта. При выборе схемы водозаборных сооружений надо учитывать и возможное увеличение дебита водозабора в перспективе.

Для повышения степени надежности подачи воды в технологической схеме предусматривают: секционирование отдельных элементов водозабора; применение водоприемников специальных конструкций и их дублирование; улучшение условий забо-

ра воды из источника путем устройства плотин, подводящих каналов, ковшей; применение тонкослойных модулей и т. п.

Водозаборы малой и средней мощности (до 1–2 $м^3/с$) обычно устраивают двухсекционными (по СНиП 2.04.02-84* число секций, работающих независимо, принимают не менее двух). В водозаборах большей мощности число секций может быть принято по числу насосов. Секционирование обязательно для водоприемников, самотечных водоводов, сеточных колодцев и водоприемно-сеточных отделений насосных станций.

С учетом особенностей источника и условий забора воды водозаборные сооружения могут быть подразделены на береговые, русловые и специальные.

По отношению к размещению насосной станции I подъема различают два вида компоновок: раздельную и совмещенную.

Выбор того или иного типа водозабора зависит от характера берегов (пологие или крутые), глубин у берега водоема, качества воды в источнике, колебаний уровней воды по сезонам года, вида и категории грунтов в месте размещения водозаборных сооружений.

Для борьбы с донным льдом и шугой, а также для снижения содержания взвеси в отбираемой воде сооружают искусственные заливы — ковши. На реках с большим содержанием взвеси рекомендуется устраивать водоприемники фильтрационного типа, которые забирают воду, профильтрованную через песчано-гравийные породы, слагающие берег и дно водоисточника.

В отдельных случаях строительство берегового водозабора совмещенного типа ведут в котловане на некотором расстоянии от берега, а воду к сооружению подводят по каналу.

При временном водоснабжении и для орошения могут применяться плавучие или передвижные водозаборные сооружения, совмещенные с насосной станцией. Отметка расположения подобных водозаборов соответствует изменению уровня воды в источнике, что гарантирует возможность забора воды при малой и постоянной высоте всасывания.

4.2.4. Водозаборные сооружения берегового типа

Водозаборы берегового типа применяют при относительно крутом береге, наличии глубин, обеспечивающих условия забора воды. Их располагают на склоне берега с приемом непосредственно из русла реки (рис. 4.14).

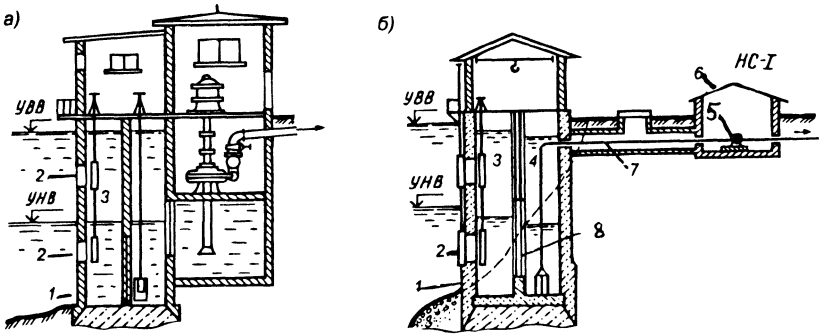


Рис. 4.14. Водозаборные сооружения берегового типа:
а — совмещенный; *б* — раздельный

Водозаборное сооружение берегового типа (рис. 4.14, *б*) состоит из водоприемного колодца *1* с входными окнами *2*, оборудованными решетками для задерживания относительно круглых предметов. Водоприемное отделение разделено стенкой на две камеры: приемную *3* и всасывающую *4*, между которыми находятся сетки *8*. Сетки могут быть плоские (подъемные) и вращающиеся (ленточные); вращающиеся сетки применяют при производительности водозабора более 1 м^3/с. Сетки служат для задержания планктона, водорослей, мелкого сора и т. п. Проходя через решетки и сетки, вода подвергается механической очистке. Низ водоприемных окон располагают минимум на 0,5 м выше дна водоема, а верх не менее 0,2 м от нижней кромки льда и не менее чем на 0,3 м ниже уровня самых низких вод источника. Вода, прошедшая через сетки, забирается насосами *5*, установленными в насосном зале *6*, через всасывающие трубы *7* и подается на очистку или к потребителю.

Для обеспечения бесперебойной работы сооружения, а также возможности проведения его осмотра, очистки и ремонта без прекращения подачи воды водоприемник делят на секции.

Совмещение насосной станции I подъема и водоприемного сооружения предусматривается в зависимости от амплитуды колебания воды в источнике, всасывающей способности устанавливаемых насосов, геологических и гидрогеологических условий.

Если насосы имеют значительную вакуумметрическую высоту всасывания, то предпочтительней раздельный тип водозаборного сооружения (см. рис. 4.14, *б*). В этом случае уменьшается заглубление насосной станции.

Такая схема компоновки водоприемника и насосной станции I подъема рекомендуется для водозаборных сооружений небольшой и средней производительности — до 1,5–3 м/с. При совмещенном типе амплитуда колебаний уровней воды может быть любая, мощность водозабора — также любая.

На возможность совмещения водоприемника и насосной станции оказывает влияние и вид грунта в основании водозаборного сооружения. При наличии скального грунта, когда исключается возможность разных просадок в основании водоприемника и насосной станции, их можно совместить по ступенчатой схеме (рис. 4.14, *а*). Если же берег состоит из осадочных грунтов (песок, суглинок, глина и т. п.), то водоприемник и насосную станцию при их совмещении устанавливают на одной отметке. В этом случае насосы работают под заливом. Под залив, как правило, устанавливают насосы на водозаборных сооружениях высокой категории обеспеченности подачи воды.

Помимо решеток и сеток водозабор оборудуется эжекторами или насосами для удаления наносов, осевших на дне водоприемника, устройством для взмучивания осадка, промывным устройством сеток, подъемно-транспортными механизмами.

Над водоприемником устраивают павильон для размещения механизмов и выполнения операций, необходимых при эксплуатации.

Габариты водоприемного колодца, размеры его основных элементов и оборудования определяют гидравлическим расчетом или конструктивными и эксплуатационными соображениями. Водоприемник необходимо проверить на всплытие, опрокидывание и прочность при действии заданных расчетных нагрузок. По расчетной производительности и рекомендуемым скоростям втекания воды $V_{вх}$ рассчитывают размеры входных окон, площади сеток, потери напора в решетках и сетках, а также диаметры всасывающих труб.

Суммарная площадь окон (брутто), снабженных решетками, и площадь сеток для одной секции водоприемника, рассчитанной на расход воды Q, могут быть определены по формулам:

площадь решеток $A_р = 1{,}25K_{ст} \cdot Q/V_{вх}$;

площадь сеток $A_с = 1{,}5K_{ст} \cdot Q/V_{вх}$,

где $K_{ст}$ — коэффициент, учитывающий стеснение приемного отверстия стержнями решеток или сеток и принимаемый $K_{ст} = (a + c)/a$ для решеток и $K_{ст} = [(a + c)/a]^2$ для сеток (a — расстояние между стержнями в свету, см; c — толщина стержней, см); $V_{вх}$ — скорость втекания воды в водоприемные отвер-

стия для решеток, отнесенные к сжатому сечению, принимаемая без учета требований рыбозащиты для средних и тяжелых условий забора воды в береговые водоприемники: в незатопляемые $V_{вх}$ = 0,2–0,6 м/с; в затопляемые $V_{вх}$ = 0,1–0,3 м/с. С учетом требований рыбозащиты принимают $V_{вх}$ = 0,25 м/с на водотоках со скоростями течения не менее 0,4 м/с и 0,1 м/с на водоемах и в водотоках со скоростями течения до 0,4 м/с. Для тяжелых шуголедовых условий скорость втекания воды в водоприемные отверстия следует снижать до 0,05 м/с. Расчетную скорость прохождения воды через отверстия сеток принимают 0,2–0,4 м/с для плоских сеток и 0,8–1,0 м/с для вращающихся.

Решетки устанавливают в водоприемных отверстиях водоприемников. Решетка состоит из сварной рамы, изготовленной из швеллеров или угловой стали, и стержней из полосовой стали шириной 40–80 мм и толщиной 6–10 мм, расположенных вертикально с расстоянием между стержнями 50–60 мм (рис. 4.15).

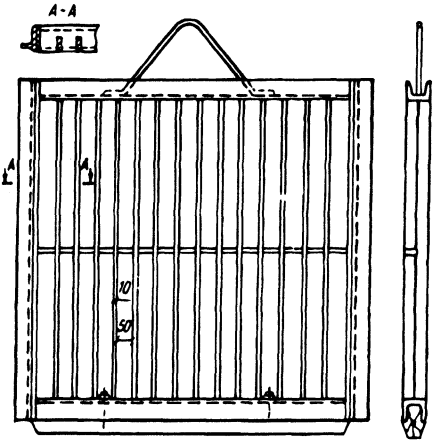


Рис. 4.15. Решетки сороудерживающие для водоприемных отверстий размером 400 × 600, 600 × 800 и 800 × 1000 мм

Решетки часто располагают в вертикальной плоскости в боковых стенках водоприемника. При расположении стержней решетки под некоторым углом к направлению течения воды в реке, например 135 град, сор и скопления шуги при небольших скоростях втекания воды мало засоряют решетку.

Очистка решеток от сора производится вручную после их подъема из воды. Возможна их очистка граблями с плавсредств или со льда. Для промыва решеток предусматривают необходимое оборудование.

Для установки решеток в отверстиях водоприемников наиболее часто используют направляющие из швеллеров.

Технические мероприятия по защите от обмерзания решеток включают: забор воды с малыми скоростями втекания; покрытие решеток гидрофобными обмазками, резиной; обогрев решеток (с поступлением шуги в водоприемник и в береговые сооружения, оборудованные вращающимися сетками); козырьки и плавучие западни у водоприемника; воздушно-пузырьковые завесы; фильтрующие водоприемники; сброс теплой воды в реку у водоприемника.

При значительных колебаниях уровня воды в источнике входные окна водоприемников располагают в два яруса для получения чистой воды.

В целях предотвращения попадания рыб в водозаборные сооружения водоприемные отверстия оборудуются рыбозащитными устройствами.

Сетки водоочистные служат для задержания мелкого сора, прошедшего через решетки. Сетки плоские съемные применяют при малой пропускной способности водозаборных сооружений (до 1 $м^3/с$).

Сетка состоит из металлической рамы, изготовленной из уголковой стали, к которой крепится сеточное полотно (рис. 4.16). Рабочее полотно сетки с ячеиками (2 × 2)–(5 × 5) мм от выпучивания поддерживается полотном сетки с ячейками размером 20 × 20 мм и более. Рабочее полотно сетки выполняют из тонкой стальной нержавеющей проволоки или другого коррозионно-стойкого материала (бронза, латунь), а поддерживающее — из стальной оцинкованной проволоки $d = 3$ мм.

Для промыва сетки поднимают из воды, устанавливают в ванну с экраном и промывают вручную струей воды из брандспойта. Перед подъемом рабочей сетки на промыв в проеме нижней части поперечной стенки берегового колодца, разделяющей приемное и всасывающее отделения, должна устанавливаться запасная сетка.

Недостатком плоских сеток является сложность механизации промыва. Для исключения их частой промывки в половодье целесообразно применять сетку большей высоты, а при небольшой амплитуде колебания уровня в реке — даже сетку на всю высоту сеточного помещения.

Сетки ленточные вращающиеся применяют для процеживания воды при пропускной способности водозаборных сооруже-

ний более 1 м^3/с, а также при средних тяжелых и очень тяжелых природных условиях засоренности воды в источнике.

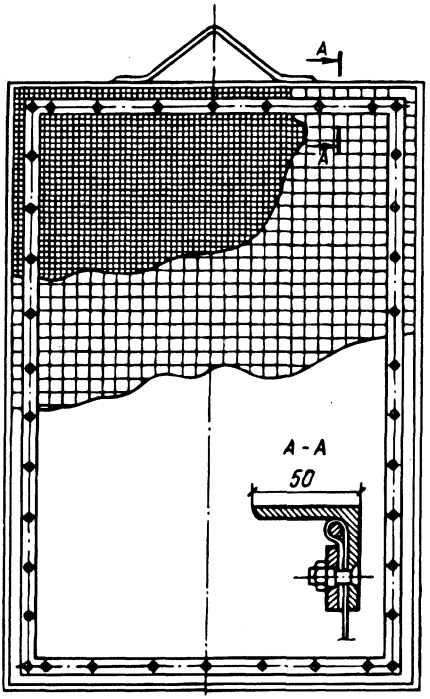


Рис. 4.16. Водоочистная плоская сетка для отверстий размером от 0,4 × 0,6 до 1 × 1,25 м

Вращающиеся сетки состоят из отдельных секций (рамок высотой около 600 мм с сеточным полотном), соединенных шарнирно между собой и закрепленных на двух замкнутых транспортерных ролико-втулочных цепях. Во избежание протекания неочищенной воды через зазоры между секциями предусматривают гибкое межсекционное уплотнение или козырек, который обеспечивает зазор с осью секции не более 3 мм. Вращение сетки со скоростью 3,5–10 мм/с осуществляется с помощью электродвигателя. Перепад на сетке не должен превышать 0,15 м.

Качество очистки воды от сора и загрязнений, а также компоновка сеточного помещения в значительной степени определяются схемой подвода неочищенной воды к сетке и отвода от нее процеженной. По способу подвода и отвода воды различают вращающиеся сетки трех основных типов (рис. 4.17).

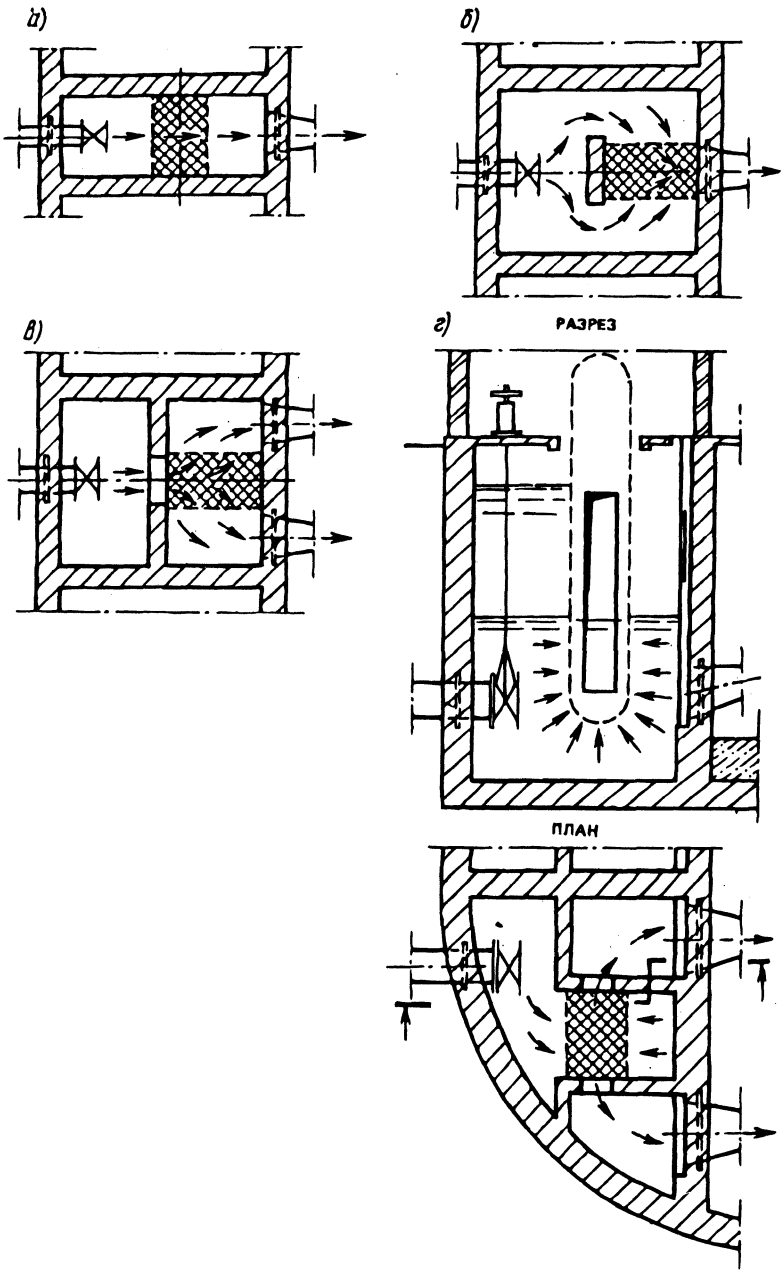


Рис. 4.17. Вращающиеся сетки с лобовым (*а*), внешним (*б*), внутренним (*в*) и лобовым внешним (*г*) подводом воды

Преимущество вращающихся сеток в том, что подъем и промыв сеток механизированы, а включение их на промыв легко автоматизировать.

Промывочное устройство, которым оборудованы сетки, состоит из трубы с рассеивающими насадками. Воду для промывки подают под давлением 0,3–0,4 МПа, расход промывной воды составляет 5–20 л/(с · м^2).

4.2.5. Водозаборные сооружения руслового типа

Водозаборы руслового типа применяют при пологом береге, когда требуемые для забора воды глубины находятся на большом расстоянии от берега.

Русловые водозаборы (рис. 4.18) имеют водоприемники *3*, расположенные в водоисточнике на некотором расстоянии от берега. Водоприемники соединяются с береговым сеточным колодцем *5*, оборудованным сетками для процеживания воды, самотечными линиями *4* или сифонными линиями, которые могут применяться вместо самотечных для уменьшения заглубления трубопроводов. Из берегового колодца вода насосами, расположенными в насосной станции *7*, по напорным водоводам *8* подается к месту дальнейшего ее потребления. Водозаборные сооружения оборудуются камерой переключения *9* и напорными трубопроводами *10* и *11* для возможности подачи воды на промывку решеток, расположенных на водоприемниках, и самотечных линий обратным током воды.

Сифонные водоводы допускается применять в водозаборах II и III категорий, а применение их в водозаборах I категории должно быть обосновано.

На водозаборах I и II категорий могут предусматриваться системы подачи горячей воды, воздуха, хлора или медного купороса для предотвращения обрастания и закупорки решеток водоприемника шугой. Во избежание обрастаний рекомендуется доза хлора на 2 мг/л более хлорпоглощаемости воды, но не менее 5 мг/л, а доза медного купороса 1–1,5 мг/л (считая по меди). Продолжительность и периодичность хлорирования принимают при хлорпоглощаемости воды: до 3 мг/л — осенью и весной в течение 7–10 дней; свыше 3 мг/л — с мая по октябрь в те дни, когда среднесуточная температура воздуха выше + 10 °С. Периодичность и продолжительность купоросования назначают через каждые 2 суток по 1 часу.

Водозаборные русловые сооружения, как и береговые водозаборы, могут быть раздельного (см. рис. 4.18) и совмещенного (рис. 4.19) типов.

Русловые водозаборы раздельного типа встречаются чаще, так как разлив воды в паводок при пологих берегах достигает значительных размеров, поэтому насосную станцию I подъема размещают вне зоны затопления, отнеся ее на некоторое расстояние от берега.

Схема водозаборных сооружений упрощается при совмещении берегового колодца и насосной станции в одном здании. Такое совмещение необходимо при применении насосов с малой высотой всасывания и амплитуде колебания уровня воды в реке больше 6–8 м, а также, как правило, при оборудовании водозаборных сооружений вращающимися сетками (см. рис. 4.19).

Одним из ответственных элементов русловых водозаборов является водоприемник, обеспечивающий надежный прием воды, а также защиту самотечных, сифонных и всасывающих водоводов. Русловые водоприемники в зависимости от категории водоподачи и условий забора воды подразделяются на затопленные, затапливаемые высокими водами и незатапливаемые.

В системах хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения наиболее широко применяют затопленные водоприемники, имеющие невысокую стоимость. Однако невозможность осмотра и очистки сороудерживающих решеток водоприемных отверстий при высоком уровне воды, шуго- и ледоходе делают их недостаточно надежными для обеспечения бесперебойного снабжения водой потребителей. Их необходимо оборудовать средствами для наблюдений за работой, для промывки сороудерживающих решеток, борьбы с обледенением и обрастанием, а также средствами защиты рыб от травмирования и попадания в водоприемник.

По конструкции затопленные водоприемники делятся на незащищенные (деревянные, стальные, тонкостенные, железобетонные) и защищенные, выполняемые из бетона и железобетона. Водоприемники располагают, как правило, ниже минимального расчетного уровня воды не менее чем на 0,3 м и ниже нижней кромки льда на 0,2 м.

Водоприемник должен иметь обтекаемую форму и в наименьшей степени стеснять сечение потока реки во избежание возможного переформирования русла реки у водозаборных сооружений.

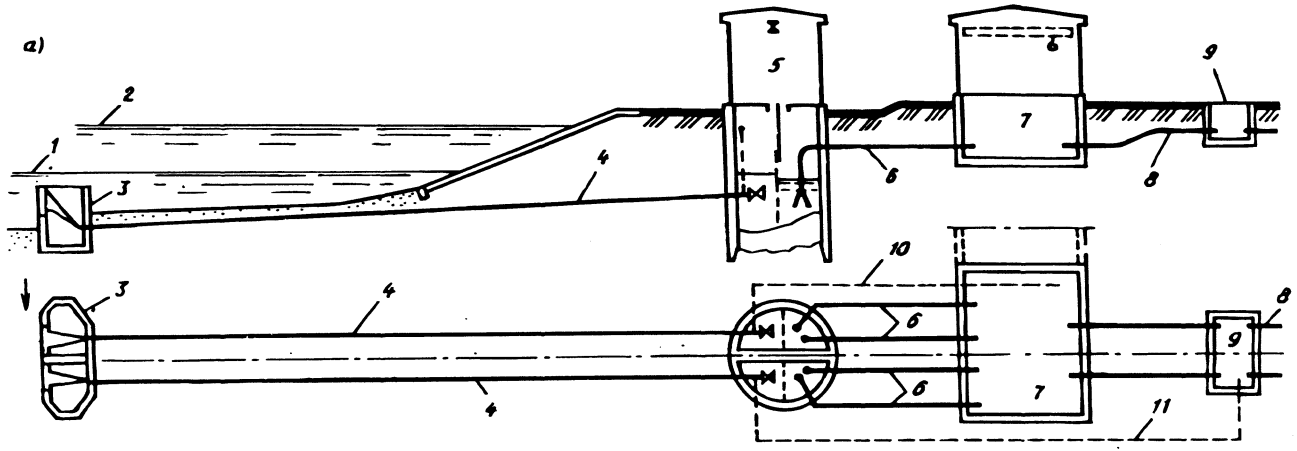


Рис. 4.18. Схема руслового водозаборного сооружения раздельного типа:

1, 2 — уровни воды минимальный и максимальный расчетной обеспеченности соответственно; *3* — русловой затопленный водоприемник (оголовок); *4* — самотечные водоводы; *5* — береговой сеточный колодец; *6* — всасывающие водоводы; *7* — насосная станция; *8* — напорные водоводы; *9* — камера переключений и предохранительной аппаратуры; *10, 11* — трубопроводы для подачи воды на промывку решеток и водоводов обратным током воды

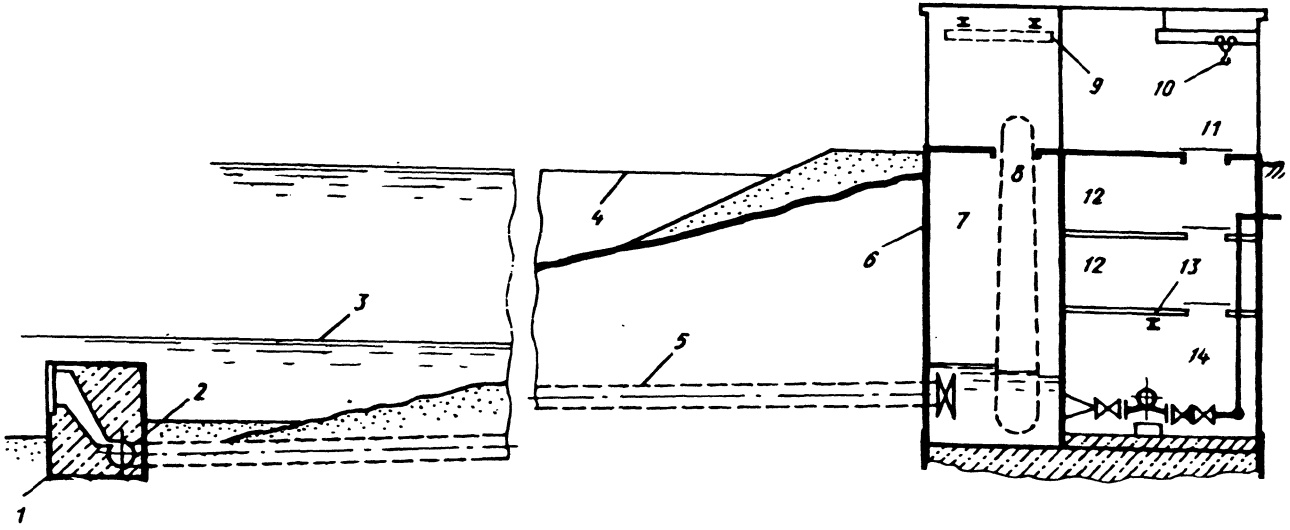


Рис. 4.19. Схема водозаборных сооружений совмещенного типа с русловым затопленным водоприемником:
1 — затопленный водоприемник; *2* — вихревая камера; *3, 4* — уровни воды минимальный и максимальный соответственно; *5* — самотечные водоводы; *6* — насосная станция, совмещенная с береговым сеточным колодцем; *7* — сеточное отделение; *8* — сетка водоочистная вращающаяся; *9* — кран подвесной однобалочный; *10* — таль; *11* — монтажный проем; *12* — помещения для электрораспредустройств, щитов автоматики; *13* — монорельс для тали; *14* — насосное отделение

Конструкция затопленного водоприемника определяется многими факторами, главные из которых: расход воды (пропускная способность водозабора); глубина воды (минимальная) в выбранном для расположения водоприемника месте и устойчивость русла; геологические и гидротермические (шуголедовые) условия, наличие в речном потоке сора, хвороста, топляков, карчей и т. п.; характеристика водохозяйственного использования реки — судоходство, лесосплав и т. д. Конструкцию водоприемника в значительной степени определяет и принятый способ его строительства.

Незащищенные водоприемники (рис. 4.20, *а*) применяют при достаточной глубине и легких условиях забора воды, т. е. при заборе воды из несудоходных и нелесосплавных рек. Для уменьшения засорения входные отверстия закрывают решетками и поворачивают по течению воды.

При заборе воды из судоходных и лесосплавных рек и при значительном количестве наносов, т. е. при средних и тяжелых условиях забора воды, применяют водоприемники защищенного типа (рис. 4.20, *б*, *г*). Они могут быть фильтрующими (см. рис. 4.20, *г*). В этом случае не требуются дополнительные меры по рыбозащите и защите от внутриводного льда, шуги.

Для приема больших количеств воды (1—1,5 $м^3/с$ и более) применяют водоприемники с вихревой камерой (рис. 4.21) и щелевые. Они обеспечивают равномерный забор воды в отдельные панели водоприемных отверстий, а также равномерный промыв всей поверхности сороудерживающих решеток.

Вихревые водоприемники бывают двух типов — с закрытой и открытой камерой. Закрытая вихревая камера (см. рис. 4.21) представляет собой вихревой коллектор, расположенный за водоприемными отверстиями *1* и имеющий входную щель переменного сечения по длине. Вихревая камера располагается в железобетонном корпусе *3*. Коллектор имеет переменное сечение по длине и обслуживает несколько панелей водоприемных отверстий.

В затапливаемых высокими водами водоприемниках в отличие от описанных ранее при минимальных и меженных уровнях имеется доступ к сороудерживающим решеткам и рыбозащитным устройствам. Однако они затрудняют использование реки для судоходства и лесосплава и могут приводить к переформированию гидравлического режима реки.

Незатапливаемые русловые водоприемники (рис. 4.22) применяют в водозаборах средней и большой производительности для обеспечения высокой надежности подачи воды в тяжелых природных условиях. Они удобны в эксплуатации, но очень дороги.

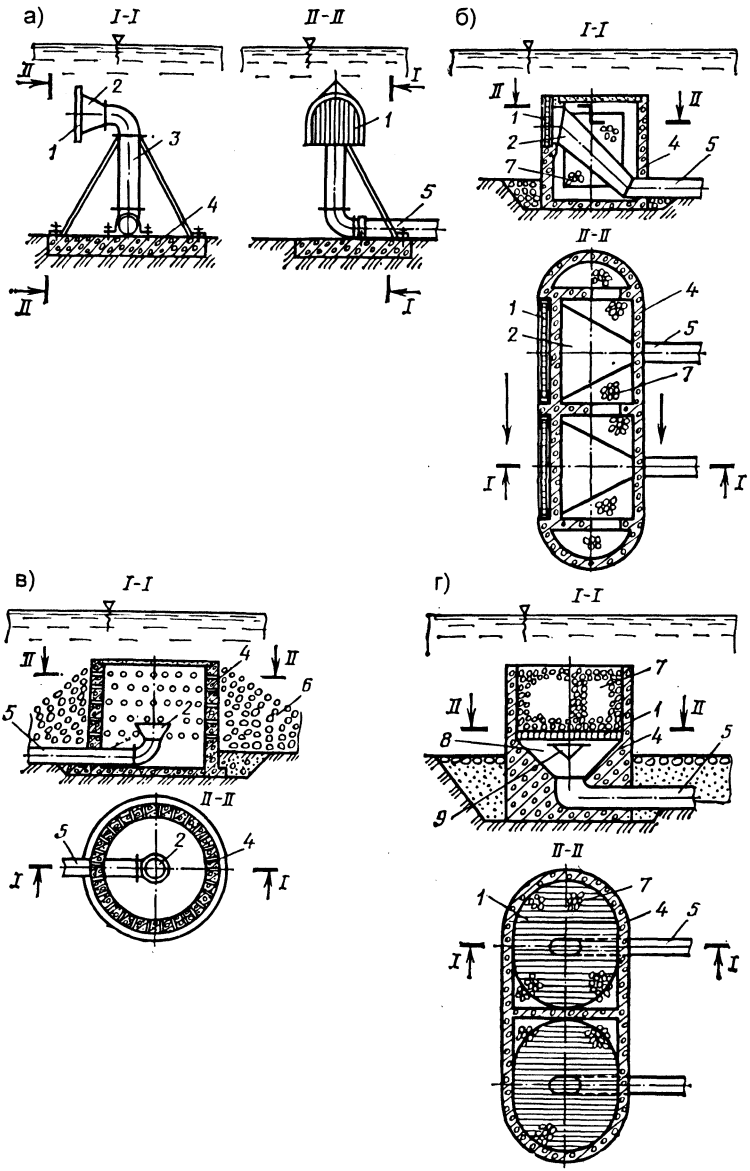


Рис. 4.20. Типы оголовков:

а — незащищенного типа; *б* — защищенного типа; *в, г* — фильтрующие; *1* — решетка; *2* — раструб; *3* — стояк; *4* — железобетонная плита, камера; *5* — самотечный водовод; *6* — обсыпка крупным камнем; *7* — загрузка (камень, гравий, щебень); *8* — подфильтровая камера; *9* — струенаправляющая камера

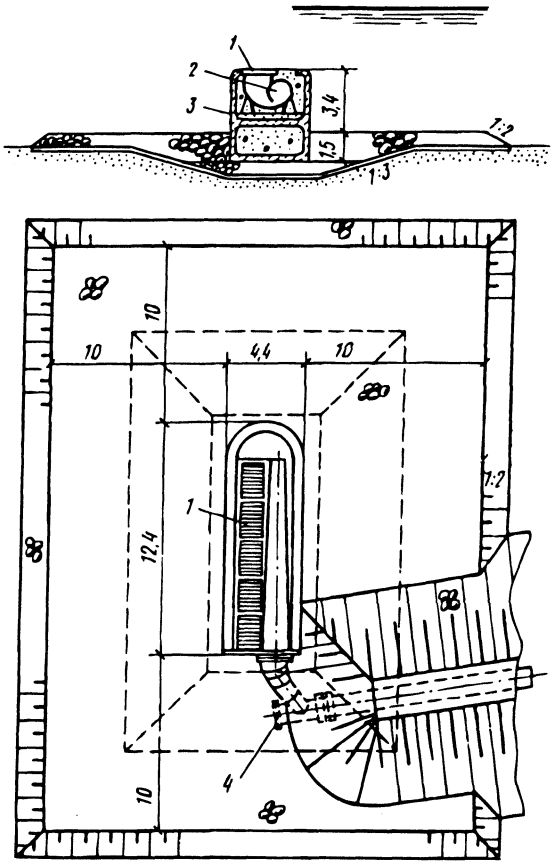


Рис. 4.21. Затопленный водоприемник с вихревой камерой:
1 — водоприемные отверстия; *2* — вихревая камера (водосборный коллектор); *3* — корпус железобетонный; *4* — ответвление на самотечном водоводе на случай его очистки

Самотечные и сифонные линии русловых водозаборов соединяют водоприемники с береговыми колодцами. Для обеспечения надежной работы водозаборного сооружения их число принимают равным числу секций водоприемника, но не менее двух. Самотечные линии имеют отметки ниже отметок минимального уровня воды в источнике. Их прокладывают без резких поворотов и с постоянным уклоном не менее 0,001 в сторону движения воды при промывке.

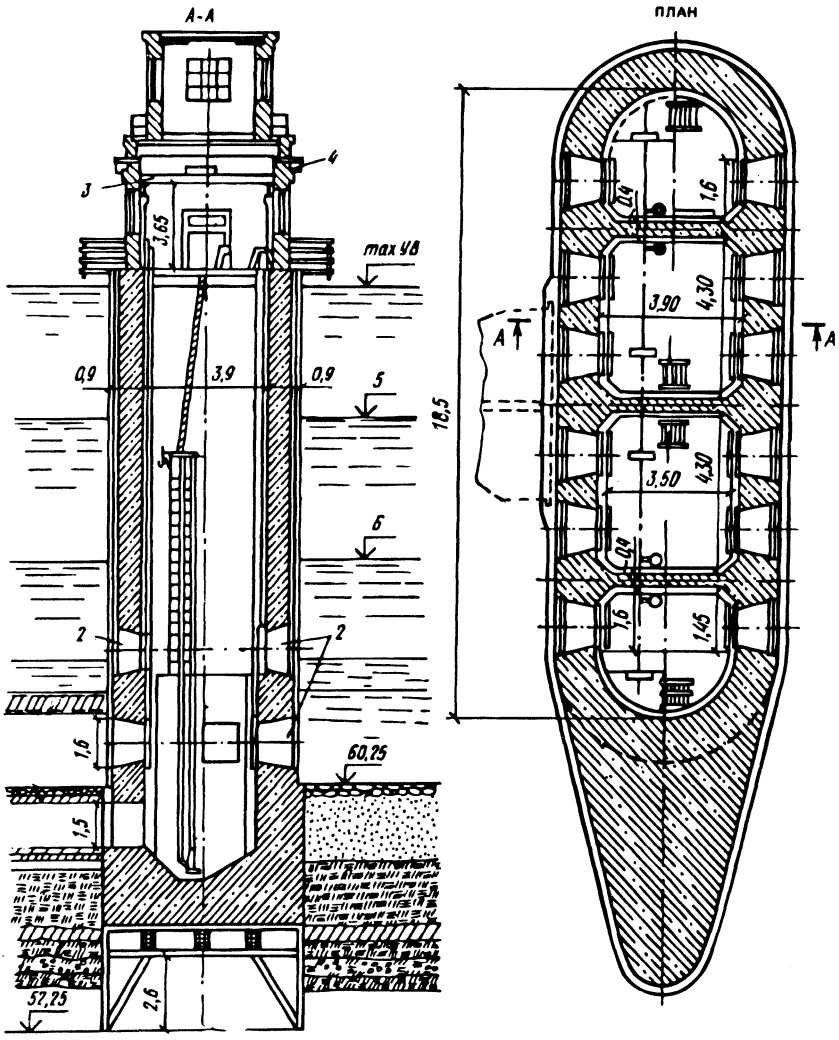


Рис. 4.22. Незатопляемый русловой водоприемник, разрез и план: *1* — самотечная галерея; *2* — водоприемные отверстия; *3* — кран мостовой; *4* — кошка с талью; *5, 6* — максимальный и минимальный уровни ледохода; *7* — заполнение бетоном поддонного пространства после опускания кессона

Водоводы прокладывают в траншее на глубине не менее 0,5 м до верха с тем, чтобы они не были подмыты потоком воды и повреждены якорями судов и плотов. Сверху траншеи, в которые уложены трубопроводы, засыпают каменной на-

броской или укрывают железобетонными плитами. Как правило, самотечные линии выполняют из стальных труб. СНиП 2.04.02-84* допускают также применение железобетонных и пластмассовых труб.

Диаметры самотечных и сифонных водоводов определяют по расходу в одной секции водоприемника при нормальном эксплуатационном режиме. Скорость движения воды в них принимается 0,7–1,5 м/с, но не менее скорости воды в реке. Кроме того, проверяют пропускную способность при аварийном режиме.

В процессе эксплуатации самотечные и сифонные линии, а также сороудерживающие решетки затопленных водоприемников засоряются. Промывка решеток от сора и глубинной шуги осуществляется, как правило, обратным током воды. Для этого на водозаборах предусматривают присоединение самотечных и сифонных водоводов к напорным линиям насосной станции I подъема и возможность включения в работу резервных насосов на период промывки (см. рис. 4.18) при некотором снижении подачи воды потребителю. Для промывки решеток и сеток обычно требуются меньшие расходы воды, чем для промывки водоводов от насосов.

Для промывки сороудерживающих решеток, фильтров и рыбозащитных кассет водоприемников необходим расход воды, равный $(0,5–2)Q_в$, где $Q_в$ — расход воды, забираемый через водоприемник при нормальном режиме водопотребления. При сильном засорении сеток и решеток целесообразно использование импульсного промыва, предложенного А.С. Образовским.

Импульсный промыв (рис. 4.23) предполагает, что колебания массы воды, находящейся в самотечной трубе и в установленной на ней перед задвижкой колонне, вызываются с помощью срыва вакуума, который ранее был создан в колонне вакуум-насосами. Волновой импульс действует с равной силой на всю площадь водоприемного отверстия и освобождает его от шуги и сора независимо от степени загрязнения.

Для обеспечения эффективности импульсной промывки требуется практически совершенная герметичность всего водопроводящего тракта, расположенного между колонной и водоприемными отверстиями. Этот вид промывки недостаточно эффективен для промыва горизонтальных отверстий, принимающих воду сверху. В этом случае используется гидропневматический способ промывки с помощью подачи в водный поток сжатого воздуха в количестве 15–25 л/(с · м^2).

Промыв самотечных водоводов от отложившихся в них наносов в основном осуществляется прямым током воды путем увеличения скоростей ее движения в трубах в результате форсированного режима работы насосов и поочередного отключения одного водовода (в двухсекционном водозаборе) и пропуска всего потребного расхода воды по второму. Такой же режим желателен в паводки и половодье при высокой мутности воды.

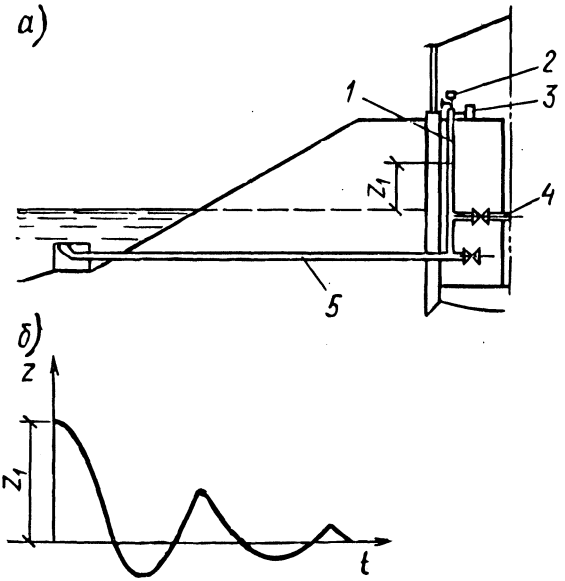


Рис. 4.23. Схема импульсной промывки сороудерживающих решеток (*а*) и график изменения уровня воды в колонне (*б*):
1 — колонна на самотечном водоводе; *2* — патрубок с затвором для впуска воздуха; *3* — вакуум-насос; *4* — трубопровод для промывки решеток обратным током воды; *5* — самотечный водовод; z_1 — столб воды, поднятый вакуумом

Возможно применение гидропневматического промыва, который осуществляется подачей сжатого воздуха в поток воды и эффективен при наличии сильного загрязнения и коррозионных отложений.

В отдельных случаях водоводы можно очищать протаскиванием через них совков и рыхлителей.

Береговые сеточные колодцы устраивают во всех водозаборных сооружениях, если существует необходимость установки сеток для процеживания воды с целью защиты насосов

от закупорки сором и обеспечения очистки воды. Поэтому применение берегового колодца, оборудованного водоочистными сетками, в составе водозаборных сооружений I и II категории обязательно. Для береговых колодцев наиболее часто применяют плоские съемные водоочистные сетки. Недопустима замена съемных сеток приемными сетками или приемными клапанами на концах всасывающих водоводов, так как из-за сложности их очистки возможны перерывы в подаче воды потребителю. В водоприемные камеры вода поступает по самотечным или сифонным трубопроводам. Для этого водоприемные камеры устраивают заглубленными. Насосы с сеточными колодцами соединяются всасывающими трубопроводами. Наличие в схеме водозабора колодца с сеткой позволяет сократить длину всасывающих трубопроводов насосов, вследствие чего улучшается работа насосов в период пуска и остановки. Колодец, как правило, располагают так, чтобы передняя стенка размещалась на незатапливаемой отметке. Вокруг колодца устраивают обсыпку шириной 4–6 м.

Размеры колодца определяют из условия компоновки оборудования, при этом объем каждой секции колодца должен быть достаточен для пуска насосов. Он принимается не менее 30–35-кратного секундного расхода воды, забираемой из секции одним насосом при минимальном расчетном уровне.

Минимальный уровень воды в береговом колодце определяют гидравлическим расчетом при минимальном уровне воды в водоисточнике, выключении одной из секций водоприемника и других возможных неблагоприятных условиях (засорение решеток, обрастание водоводов и др.).

Отметку днища берегового колодца определяют из условия расположения под минимальным расчетным уровнем воды в колодце водоочистных сеток необходимой площади. Вместе с тем высота слоя воды в береговом колодце должна быть достаточной для расположения под минимальным расчетным уровнем водоприемных воронок всасывающих водоводов. Вертикальные всасывающие водоводы диаметром d с приемными воронками диаметром $D = (1{,}3—2)d$ и длиной $L = (1{,}3—1{,}8)(D—d)$ должны иметь заглубление входного отверстия не менее $(1{,}5—2)D$ с расстоянием от отверстия до дна не менее $0{,}8D$ (рис. 4.24).

Верх водоочистных сеток целесообразно располагать в колодце значительно выше минимального уровня воды, например на уровне высокой межени, для того чтобы бóльшую часть года процеживание воды через сетку происходило

с меньшими скоростями течения воды в ячейках сетки. Такое решение позволяет обеспечить не только более высокое качество очистки воды на сетках, но и повышает надежность действия сеток в случае поступления шуги через водоприемник и водоводы в береговой колодец. Над колодцем устраивают павильон, создающий нормальные температурные условия работы оборудования.

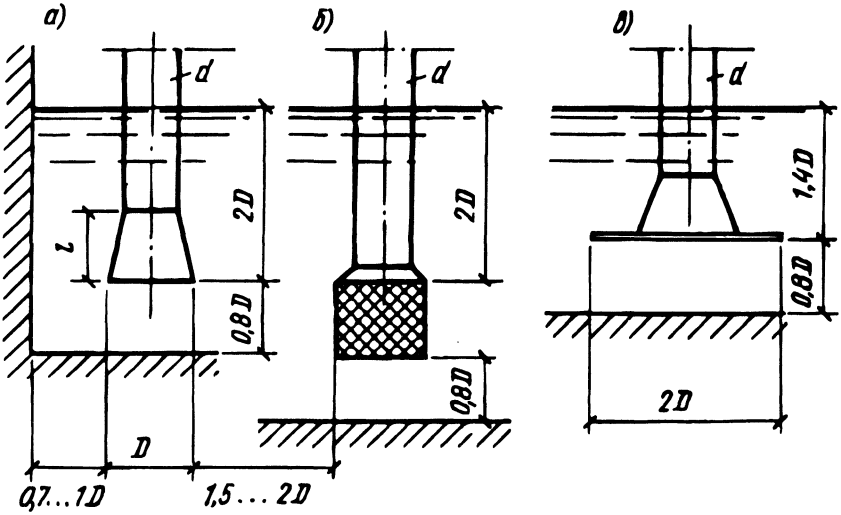


Рис. 4.24. Заглубление всасывающих водоводов, оборудованных воронками (*а*), приемными сетками (*б*) и воронкой с диафрагмой (*в*)

При значительных колебаниях воды в источнике и достаточно пологом береге возможно использование комбинированного водозабора, в состав которого входят русловой затопленный водоприемник и водоприемные окна, размещаемые на передней стенке берегового колодца.

Русловой водоприемник используют в течение всего года, а береговой — при высоких уровнях воды в реке, когда обслуживание руслового водоприемника затруднено, а в наиболее глубокой части русла передвигается основная масса донных и крупных взвешенных наносов.

К специальным водозаборным сооружениям могут быть отнесены водоприемные ковши, передвижные и плавучие водозаборы, а также сооружения по забору воды из водохранилищ, горных рек и морей.

Водоприемный ковш представляет собой искусственный залив, образованный дамбой. Применяют его для борьбы с шугой и для частичного осветления воды.

Плавучие водозаборные сооружения применяют для временного водоснабжения в условиях значительных колебаний уровня воды в источнике.

Учитывая особенности режима течения горных рек, требуется применять специальные конструкции водоприемников. При заборе воды из водохранилищ и морей необходимо учитывать воздействие ветровых волн, явления сгона и нагона воды, береговые течения, ледовые явления и т. д.

Раздел 5. Водоподготовка

5.1. Требования, предъявляемые к природным водам различными водопотребителями

Природная вода — сложная, непрерывно изменяющаяся система. В состав воды входят: соли, преимущественно в виде ионов, молекул и комплексов, органические вещества — в молекулярных соединениях и коллоидном состоянии; газы — в виде молекул и гидратированных соединений; диспергированные примеси; гидробионты (планктон, бентос, нейстон, пагон); бактерии и вирусы. Во взвешенном состоянии в природных водах содержатся глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы; в коллоидном — различные вещества органического происхождения, кремнекислота, гидроксид железа (III), фульвокислоты, гуматы; в истинно растворенном состоянии находятся в основном минеральные соли, обогащающие воду ионами. Качество природных вод весьма разнообразно.

С точки зрения водоподготовки наиболее общими и характерными признаками загрязняющих воду веществ являются формы нахождения их в воде. Исходя из этого, Л.А. Кульским предложена классификация примесей воды, основанная на их фазовом состоянии и дисперсности. Эта классификация имеет широкое практическое применение, так как дает приемлемое обоснование технологическим приемам водообработки и преследует цель упорядочить выбор состава очистных сооружений. Все примеси разделены на четыре группы.

Примеси первой группы — это нерастворимые в воде суспензии и эмульсии (а также планктон и бактерии), кинетически неустойчивые и находящиеся во взвешенном состоянии благодаря гидродинамическому воздействию водного потока. В состоянии покоя эти взвешенные вещества выпадают в осадок.

Примеси второй группы — это гидрофобные и гидрофильные органические и минеральные коллоидные частицы, а также нерастворимые и недиссоциированные формы гумусовых веществ, детергенты и вирусы, которые по своим размерам близки к коллоидным примесям.

Примеси третьей группы — это молекулярно растворимые вещества (органические соединения, растворимые газы и т. п.).

Примеси четвертой группы — это вещества, диссоциированные на ионы.

Концентрация отдельных примесей в воде определяет ее свойства, т. е. качество воды. Различают показатели качества воды физические (температура, взвешенные вещества, цветность, запах, вкус и др.), химические (жесткость, щелочность, активная реакция, окисляемость, сухой остаток и др.), микробиологические и паразитологические.

Для определения качества воды производят физические, химические, микробиологические, паразитологические и технологические анализы в наиболее характерные для данного водоисточника периоды года.

Порядок отбора проб из источника регламентирован ГОСТ 18963-73. Выбор и оценка качества источников централизированного хозяйственно-питьевого водоснабжения производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.3.03-87.

Выбор источника производственного водоснабжения делается с учетом требований, предъявляемых потребителями к качеству воды.

Ниже приводятся ряд основных показателей качества природных вод и значения их для некоторых потребителей.

Температура поверхностных вод подвержена значительным сезонным колебаниям (от 0,1 до 30 °С). Подземные воды имеют более стабильную температуру (8–12 °С). Наиболее приемлема для питьевых нужд вода с температурой 7–11 °С.

Прозрачность, мутность и взвешенные вещества характеризуют наличие в воде суспензированных частиц песка, глины, ила, планктона, водорослей, которые попадают в нее в результате эрозии берегов, взмучивания осадка со дна с дождевыми и талыми водами и т. п.

При большой концентрации взвешенных веществ в воде их количество определяется весовым методом, при относительно небольшом содержании взвешенных веществ применяют косвенный метод — определяют мутность на мутномере, фотоэлектроколориметре (ФЭК) или определяют прозрачность.

Мутность — характеристика, обратная прозрачности. Прозрачность воды — это предельная высота столба воды (см), через который можно читать текст, набранный стандартным шрифтом (высота букв 3,5 мм). Прозрачность питьевой воды должна быть не менее 30 см.

Количество взвешенных веществ в воде выражается в миллиграммах на литр по каолину (мг/л) или единицах мутности по формазину (ЕМФ).

В соответствии с СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода» количество взвешенных веществ в питьевой воде не должно превышать 1,5 мг/л. Количество взвешенных веществ, которое допускается в воде, используемой для производственных целей, зависит от характера производства. На многих производствах можно использовать воду с гораздо большим содержанием взвешенных веществ. В то же время для некоторых производств химической, пищевой, электронной и других отраслей промышленности требуется вода такого же или более высокого качества.

Цветность воды, т. е. ее окраска, обусловлена присутствием в воде гумусовых и дубильных веществ, жиров, органических кислот и других органических соединений. Наряду с этим окраска воды может быть вызвана присутствием соединений железа, марганца, сточных вод некоторых производств или «цветением» водоемов.

Цветность природных вод обычно обусловлена гумусовыми веществами. Гумусовые вещества почвы в природных водах находятся во взвешенном состоянии, фульво- и гуминовые кислоты — в коллоидном и истинно растворимом состоянии.

Цветность вод измеряется в градусах платино-кобальтовой шкалы. Для питьевой воды она не должна превышать 20 град. Цветность определяют колориметрически, сравнивая цвет пробы с эталонами шкалы цветности, или применяют фотоэлектроколориметры для измерения оптической плотности. Отдельные виды производств предъявляют различные требования к цветности используемой воды.

Привкусы и запахи, встречающиеся в природных водах, могут быть естественного или искусственного происхождения. Они зависят от химического состава примесей и температуры.

Запахи и привкусы придают воде сероводород, соли железа, сульфаты кальция (вяжущий) и магния (горький), хлорид натрия (соленый), органические вещества (продукты жизнедеятельности микроорганизмов и водная растительность), а также сбрасываемые сточные воды отдельных предприятий.

К запахам естественного происхождения относят ароматический (огуречный, цветочный); болотный (илистый, тинистый); гнилостный (фекальный, сточный); древесный, землистый, плесневый, рыбный, сероводородный, травянистый и др.

К запахам искусственного происхождения относят фенольный, хлорфенольный, камфорный, бензиновый, хлорный и др.

Различают четыре основных вкуса: соленый, горький, сладкий и кислый. Остальные особенности относят к привкусам.

Интенсивность запахов и привкусов определяют органолептически и выражают по пятибалльной шкале. Для питьевой воды по нормам СанПиН запахи и привкусы не должны превышать двух баллов при 20°С.

Общая минерализация (*сухой остаток*) — общее количество веществ (кроме газов), содержащихся в воде в растворенном состоянии. Сухой остаток получают в результате выпаривания профильтрованной воды и высушивания задержанного остатка до постоянной массы при $T = 110$ °С. В воде, используемой для хозяйственно-питьевых целей, сухой остаток не должен превышать 1000 мг/л, в особых случаях — 1500 мг/л. Сухой остаток лимитируется также в воде, поступающей для питания паровых котлов, и в воде, используемой в производстве кинопленки, синтетического каучука и др.

Хлориды и сульфаты благодаря своей высокой растворимости присутствуют во всех природных водах обычно в виде натриевых, кальциевых и магниевых солей. При значительном их содержании вода становится агрессивной по отношению к бетону. Для хозяйственно-питьевой воды предельно допустимое содержание хлоридов Cl^- — 350 мг/л, сульфатов SO_4^{2-} — 500 мг/л.

Щелочность воды определяется суммой содержащихся в воде гидроксильных ионов и анионов слабых кислот — угольной, органических, а также бикарбонатных и карбонатных ионов; измеряется в мг-экв/л.

Жесткость воды обусловливается содержанием в ней солей кальция и магния. Различают карбонатную жесткость (карбонатные и бикарбонатные соли кальция и магния) и некарбонатную (некарбонатные соли кальция и магния — сульфаты, хлориды, нитраты и др.). Сумма карбонатной и некарбонатной жесткости определяет общую жесткость.

Соли жесткости не вредны для здоровья, но присутствие их затрудняет использование воды для хозяйственно-бытовых нужд (дополнительный расход мыла при стирке, отложение осадков в трубах водопровода).

Общая жесткость хозяйственно-питьевой воды не должна превышать 7 мг-экв/л, а в особых случаях — 10 мг-экв/л.

Жесткая вода непригодна для питания котлов, паросиловых установок тепловых электростанций и теплоэлектроцентралей. Жесткость воды лимитируется для предприятий бумажной, текстильной промышленности, при производстве искусственного волокна и др.

Железо и марганец присутствуют в природных водах в формах, зависящих от величины pH, окисляемости и содержания кислорода. Железо может находиться в форме двух- и трехвалентных ионов, органических и неорганических коллоидов, комплексных соединений, в виде тонкодисперсной взвеси, сульфида железа, гидроксида железа (II). В подземных водах при отсутствии кислорода железо и марганец встречаются обычно в форме двухвалентных солей, в поверхностных водах — в виде органических комплексных соединений, коллоидов или тонкодисперсных взвесей.

Вода, содержащая повышенную концентрацию железа, неприятна на вкус, причиняет неудобства в быту, оказывает влияние на печень, увеличивает риск инфарктов. Избыток марганца вызывает окраску и вяжущий привкус, заболевание костной системы. Поэтому содержание железа в питьевой воде не должно превышать 0,3 мг/л, а марганца — 0,1 мг/л. Содержание железа и марганца ограничивают в воде, используемой при производстве пластмасс, кино- и фотопленки, бумаги, в текстильной, пищевой промышленности и др.

Активная реакция воды является показателем ее щелочности или кислотности и характеризуется концентрацией водородных ионов.

Вода, подаваемая для хозяйственно-питьевых нужд, должна иметь pH в пределах 6–9. Для вод большинства природных источников значение pH не отклоняется от указанных пределов.

Окисляемость воды обусловливается присутствием органических и некоторых неорганических примесей, таких, как железо (II), сульфиты, сероводород и др.

Различают перманганатную и бихроматную окисляемость. ГОСТом 2874-82 «Вода питьевая» окисляемость не лимитировалась. В связи с возросшим антропогенным загрязнением водоемов и повышением окисляемости природных вод, связанной с присутствием хлорорганики, пестицидов, гербицидов, нефтепродуктов, бензола и др., СанПиН 2.1.4.559-96 ограничивают окисляемость питьевой воды до 5 мг O_2/л. Характерно, что окисляемость воды после коагулирования, отстаивания и фильтрования снижается меньше, чем цветность.

Окисляемость лимитируется для питательной воды котлов (из-за вспенивания), для охлаждающей воды (из-за возможного биообрастания труб и аппаратуры), а также для воды, используемой для изготовления синтетических волокон и некоторых пластмасс.

Азотсодержащие соединения в природных водах могут быть органические и неорганические в виде нитратов NO_3^-, нитритов NO_2^- и аммонийных солей NH_4^+.

Повышенное количество азота в природной воде в органических соединениях или в аммонийной форме свидетельствует о загрязнении водоисточника сточными водами, как бытовыми, так и производственными. Поэтому в питьевой воде не допускается присутствие органического и аммонийного азота и нитритов. В соответствии с указанными СанПиН в питьевой воде содержание нитратов (по NO_3^-) не должно превышать 45 мг/л.

Фтор является активным в биологическом отношении микроэлементом, содержание которого в питьевой воде должно поддерживаться в пределах 0,7–1,5 мг/л (в зависимости от климатических условий).

Растворенные в воде газы — кислород, углекислый газ, сероводород, метан, азот.

Углекислота, кислород и сероводород придают воде при определенных условиях коррозионные свойства по отношению к бетонам и металлам.

Углекислота содержится во всех природных водах. В зависимости от pH она может быть в виде растворенного в воде газа CO_2, бикарбонат-ионов HCO_3^-, карбонат-ионов CO_3^{2-}.

Кислород попадает в воду при ее контакте с воздухом. Резкое снижение содержания кислорода в воде указывает на ее загрязнение. Растворенный в воде кислород интенсифицирует коррозию металла, поэтому в питательной воде теплоэнергетических установок его концентрация строго ограничивается.

Сероводород придает воде неприятный запах, вызывает коррозию металла. Присутствие H_2S в хозяйственно-питьевой воде не допускается.

Азот в природные воды поступает из воздуха, а также при разложении органических остатков и восстановлении азота денитрифицирующими бактериями.

Метан обычно присутствует в болотных водах. В природных водах, используемых для водоснабжения, он может присутствовать в незначительных количествах.

Бактерии и вирусы могут интенсивно развиваться в воде. В соответствии с СанПиН 2.1.4.559-96 безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям. Для питьевой воды определяются микробиологические показатели: общее микробное число ОМЧ (ко-

личество колоний бактерий в 1 мл) — не более 50; общие и термотолерантные колиформные бактерии — отсутствие в 100 мл; колифаги — отсутствиие бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл. При обнаружении в повторной пробе воды вышеперечисленных загрязнений проводятся исследования на наличие патогенных бактерий и вирусов определением цист лямблий (в питьевой воде — отсутствие в 50 л воды) и спор сульфитредуцирующих клостридий (в питьевой воде — отсутствие в 20 мл).

На большинстве производств бактериальное загрязнение воды не препятствует ее использованию для технических целей. Исключение составляют предприятия, для которых требуется вода питьевого качества.

Здесь перечислены лишь основные свойства природных вод. В практике приходится встречаться еще с целым рядом специфических свойств природных вод. Например, питьевая вода не должна содержать более 0,05 мг/л мышьяка, 1 мг/л меди, 5 мг/л цинка, 0,03 мг/л свинца и 0,5 мг/л алюминия.

В зависимости от целевого назначения к воде предъявляют разнообразные требования, согласно которым ее можно классифицировать как используемую: для хозяйственно-питьевых целей, коммунальных предприятий, нужд пищевой и некоторых других отраслей промышленности; для охлаждения (технологического оборудования, пара, жидких и газообразных продуктов, доменных и мартеновских печей, конденсаторов турбин и паровых машин, вагранок, кузнечных молотов и др.); для нужд паросилового хозяйства (питание паровых котлов ГРЭС и ТЭЦ); для технологических нужд промышленности, где вода может входить в состав продукции или контактировать с ней; для заводнения нефтяных пластов; для нужд сельского хозяйства.

Хозяйственно-питьевая вода должна быть безвредна для здоровья человека, иметь хорошие органолептические показатели и быть пригодной для использования в быту. Качество хозяйственно-питьевой воды регламентировано СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизированных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Выполнение требований санитарных правил гарантирует эпидемическую и радиационную безопасность, безвредность по химическому составу и благоприятные органолептические свойства питьевой воды.

Эпидемическая безопасность питьевой воды нормируется по микробиологическим и паразитологическим показателям (общее микробное число, общие колиформные бактерии, колифаги и др.).

Радиационная безопасность питьевой воды нормируется показателями общей α- и β-активности.

Безвредность воды по химическому составу нормируется по обобщенным показателям (pH, общая минерализация, общая жесткость и др.); химическим веществам, наиболее часто встречающимся в природных водах: неорганическим (Al^{3+}; Ba^{3+}; Fe^{2+}; Fe^{3+} и др.) и органическим (ДДТ; 2,4-D и др.); веществам антропогенного происхождения, получившим глобальное распространение; реагентам и вредным химическим веществам, поступающим и образующимся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения (хлор, озон, хлороформ и т. д.); вредным химическим веществам, поступающим в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека.

Органолептические свойства питьевой воды нормируются по запаху, привкусу, цветности и мутности: запахи и привкусы при 20 °С — до 2 баллов, цветность — до 20 град, мутность — до 1,5 мг/л.

Ряд отраслей пищевой промышленности помимо лимитов СанПиН 2.1.4.559-96 предъявляют к воде дополнительные требования. Так, в воде, используемой в пивоварении, должны отсутствовать сульфаты, содержание железа не должно превышать 0,1 мг/л; в воде для винокуренного производства не должно содержаться хлористых магния и кальция; в воде для производства сахара должно быть минимальное солесодержание и т. д.

Качество охлаждающей воды не нормируется, так как оно зависит от условий применения, но очевидно, что охлаждающая вода не должна давать отложения в трубах и аппаратах, по которым она подается, так как в этом случае затрудняется теплопередача и сокращается живое сечение, снижаются интенсивность циркуляции и эффект охлаждения. Вода, используемая для целей охлаждения, не должна содержать крупных минеральных взвешенных веществ, большого количества железа и органических примесей.

Вода для технологических нужд промышленности в зависимости от ее целевого использования должна отвечать самым разнообразным требованиям. Так, в воде, используемой в горнодобывающей промышленности при добыче, отмывке, гидротранспорте, обогащении и сортировке полезных ископаемых, должны отсутствовать грубые взвешенные частицы. Весьма специфические требования предъявляют к воде, применяемой для обработки готовой продукции, а также к воде, входящей в состав продукта.

Ряд промышленных предприятий предъявляет к воде требования, значительно превышающие лимиты СанПиН 2.1.4.559-96. Так, в воде, идущей на изготовление кино- и фотопленки, фотобумаги, не должно содержаться марганца, железа, кремнекислоты, ограничиваются окисляемость воды и содержание хлоридов. В воде, применяемой для изготовления растворов кислот и щелочей, красителей и мыла, жесткость должна быть не более 0,35 мг-экв/л.

Вода для нужд сельского хозяйства (птице- и зооферм, для орошения, мелиорации и др.) по своему качеству должна соответствовать целевому назначению. Для водопоя птиц, зверей и животных на фермах следует подавать воду питьевого качества. При невозможности соблюдения этого требования допускается кратковременно производить водопой животных водой с повышенным минеральным составом, а именно: сухой остаток — до $5 \cdot 10^3$, хлориды — до $2 \cdot 10^3$, сульфаты — до $2{,}4 \cdot 10^3$ мг/л, общая жесткость — до 45 мг-экв/л. Допускается использование воды с повышенной цветностью, с привкусом и запахом при ее температуре 8–15°С.

5.2. Способы улучшения качества воды. Основные технологические схемы

Многочисленные способы обработки воды можно классифицировать на следующие основные группы: улучшение органолептических свойств воды (осветление, обесцвечивание, дезодорация и др.); обеспечение эпидемиологической безопасности (хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение и др.); улучшение минерального состава (фторирование и обесфторивание, обезжелезивание и деманганация, умягчение или обессоливание и др.).

В процессе очистки и обработки вода подвергается осветлению (освобождение от взвешенных веществ), обесцвечиванию, обеззараживанию (уничтожение находящихся в ней болезнетворных бактерий), умягчению (снижение или почти устранение содержащихся в ней солей жесткости). Кроме того, при использовании воды некоторых источников и для отдельных потребителей требуется удалять все растворенные в ней соли (обессоливание) или только некоторые определенные соли, например соли железа (обезжелезивание), растворенные в ней газы (дегазация), иногда приходится устранять привкусы и запахи, предотвращать коррозионное действие

воды на трубы, удалять из воды фтор (обесфторивание) и т. п. Те или иные комбинации указанных процессов применяют в зависимости от категорий потребителей и качества воды в источниках.

Для получения воды питьевого качества при использовании поверхностных источников, как правило, необходимо производить осветление, обесцвечивание и обеззараживание воды. При этом в зависимости от качества исходной воды в некоторых случаях дополнительно необходимо применять и специальные виды водоподготовки — фторирование, обесфторивание, умягчение и т. п. (табл. 5.1).

Совокупность необходимых технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Применяемые в водоподготовке технологические схемы можно классифицировать: 1) на реагентные и безреагентные; 2) по эффекту обработки; 3) по числу ступеней; 4) на напорные и безнапорные.

1. Реагентные и безреагентные технологические схемы отличаются размерами водоочистных сооружений и условием их эксплуатации (рис. 5.1 и 5.2).

При применении реагентов процессы обработки воды протекают интенсивнее и более эффективно. Так, для осаждения основной массы взвешенных веществ в первом случае требуется 2–4 ч, во втором — несколько суток. С использованием реагентов фильтрование осуществляется со скоростью 5–12 м/ч и более, а без реагентов (медленное фильтрование) — 0,1–0,3 м/ч.

При обработке воды с применением реагентов водоочистные сооружения меньше по объему, компактнее, дешевле в строительстве, но сложнее в эксплуатации, чем сооружения безреагентной очистки. Поэтому безреагентные технологические схемы (см. рис. 5.1) с гидроциклонами, акустическими, намывными и медленными фильтрами, как правило, применяют для водоснабжения небольших водопотребителей при цветности исходной воды до 50 град. Безреагентные технологии широко используют для неглубокого осветления воды при водоснабжении промышленных объектов. В ряде случаев для этих целей применяют одно отстаивание или одно фильтрование на крупнозернистых фильтрах или микрофильтрах.

2. По эффекту обработки различают технологические схемы для полной или глубокой очистки воды и для неполной или неглубокой. Например, в первом варианте очищенная вода соответствует требованиям питьевой воды, во втором —

Таблица 5.1

Основные способы обработки воды

Показатель качества воды	*Способ обработки*	*Рекомендуемые реагенты*
Мутность	Коагулирование	Коагулянты (сернокислый алюминий, хлорное железо, оксихлорид алюминия, алюминат натрия и др.)
	Обработка флокулянтами	Флокулянты (полиакриламид, активная кремниевая кислота и др.)
Цветность, повышенное содержание органических веществ и планктона	Предварительное хлорирование, коагулирование	Хлор, коагулянты
	Обработка флокулянтами	Флокулянты
	Озонирование	Озон
Низкая щелочность, затрудняющая коагулирование	Подщелачивание	Известь, сода
Привкусы и запахи	Углевание	Активный уголь
	Предварительное хлорирование	Жидкий хлор
	Предварительное хлорирование с преаммонизацией	Жидкий хлор, аммиак
	Обработка перманганатом калия	Перманганат калия
	Озонирование	Озон
Нестабильная вода с отрицательным индексом насыщения (коррозионная)	Подщелачивание	Известь, сода
	Фосфатирование	Гексаметафосфат или триполифосфат натрия
Нестабильная вода с положительным индексом насыщения	Подкисление	Кислоты (серная, соляная)
	Фосфатирование	Гексаметафосфат или триполифосфат натрия
Бактериальное загрязнение	Хлорирование	Хлор, гипохлориты, диоксид хлора
	Озонирование	Озон
	УФ-излучение	—

Окончание табл. 5.1

Показатель качества воды	*Способ обработки*	*Рекомендуемые реагенты*
Недостаток фтора (менее 0,5 мг/л)	Фторирование	Фтористый или кремнефтористый натрий, кремнефтористый аммоний, кремнефтористоводородная кислота
Избыток фтора (более 1,5 мг/л)	Обесфторивание	Сернокислый алюминий
Избыток железа	Аэрация	—
	Хлорирование	Хлор
	Подщелачивание	Известь, сода
	Коагулирование	Коагулянты
	Обработка перманганатом калия	Перманганат калия
Избыток солей жесткости	Катионирование	—
	Декарбонизация	—
	Известково-содовое умягчение	Известь, сода
Общее солесодержание выше нормы	Ионный обмен	—
	Электродиализ	—
	Дистилляция	—
	Гиперфильтрация и др.	—
	Коагулирование	Коагулянты
Содержание кремниевой кислоты выше нормы	Магнезиальное обескремнивание	Каустический магнезит, известь
	Ионный обмен	—
Наличие сероводорода	Подкисление	Кислота
	Аэрация	—
	Хлорирование	Хлор
	Озонирование	Озон
	Использование гидроокиси железа III	$Fe(OH)_3$, получаемая электролитическим растворением металлического железа
Избыточный растворенный кислород	Связывание кислорода восстановителями	Сульфит или тиосульфат натрия, сернистый газ, гидразин

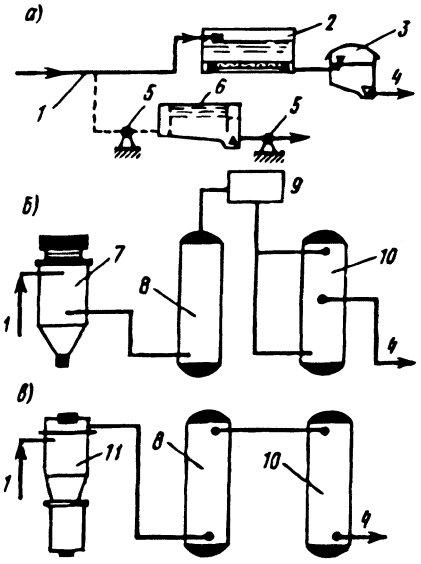


Рис. 5.1. Безреагентные технологические схемы водоподготовки с медленными (*а*) и акустическим (*б*) фильтрами, с гидроциклоном (*в*): *1, 4* — подача исходной воды и отвод обработанной; *2, 7* — медленный и акустический фильтры; *3* — резервуар чистой воды; *5* — насос; *6* — сооружения оборота промывной воды; *8, 10* — скорый фильтр I и II ступени; *9* — распределительный бак; *11* — гидроциклон

это грубо осветленная вода (5—80 мг/л), которая может использоваться для целей охлаждения производственного оборудования и др.

3. Двухступенчатые схемы осветления и обесцвечивания воды, подаваемой для хозяйственно-питьевых целей, показаны на рис. 5.2, *а*, *б*, *г*. Здесь процессы осветления и обесцвечивания осуществляются в две ступени: на отстойниках и фильтрах; на осветлителях со слоем взвешенного осадка и фильтрах; во флотаторах и на фильтрах. Схема с контактными осветлителями — одноступенчатая (рис. 5.2, *в*).

4. По характеру движения обрабатываемой воды технологические схемы подразделяются на самотечные (безнапорные) и напорные. На крупных водоочистных комплексах движение обрабатываемой воды по сооружениям осуществляется самотеком. В этом случае следует наиболее рационально использовать рельеф местности для уменьшения заглубления отдельных сооружений, снижения объема земляных работ и стоимости фундаментов и т. п. Поэтому взаиморас-

положение отдельных очистных сооружений технологической схемы, т. е. высотная схема, имеет первостепенное значение.

При напорной схеме очистные сооружения можно расположить на одной отметке. При использовании таких схем резервуары чистой воды и насосные станции II подъема иногда могут не устраиваться, а обработанная вода под напором насосов I подъема подается потребителю.

Применение напорных технологических схем сопряжено со значительной металлоемкостью используемых водоочистных сооружений.

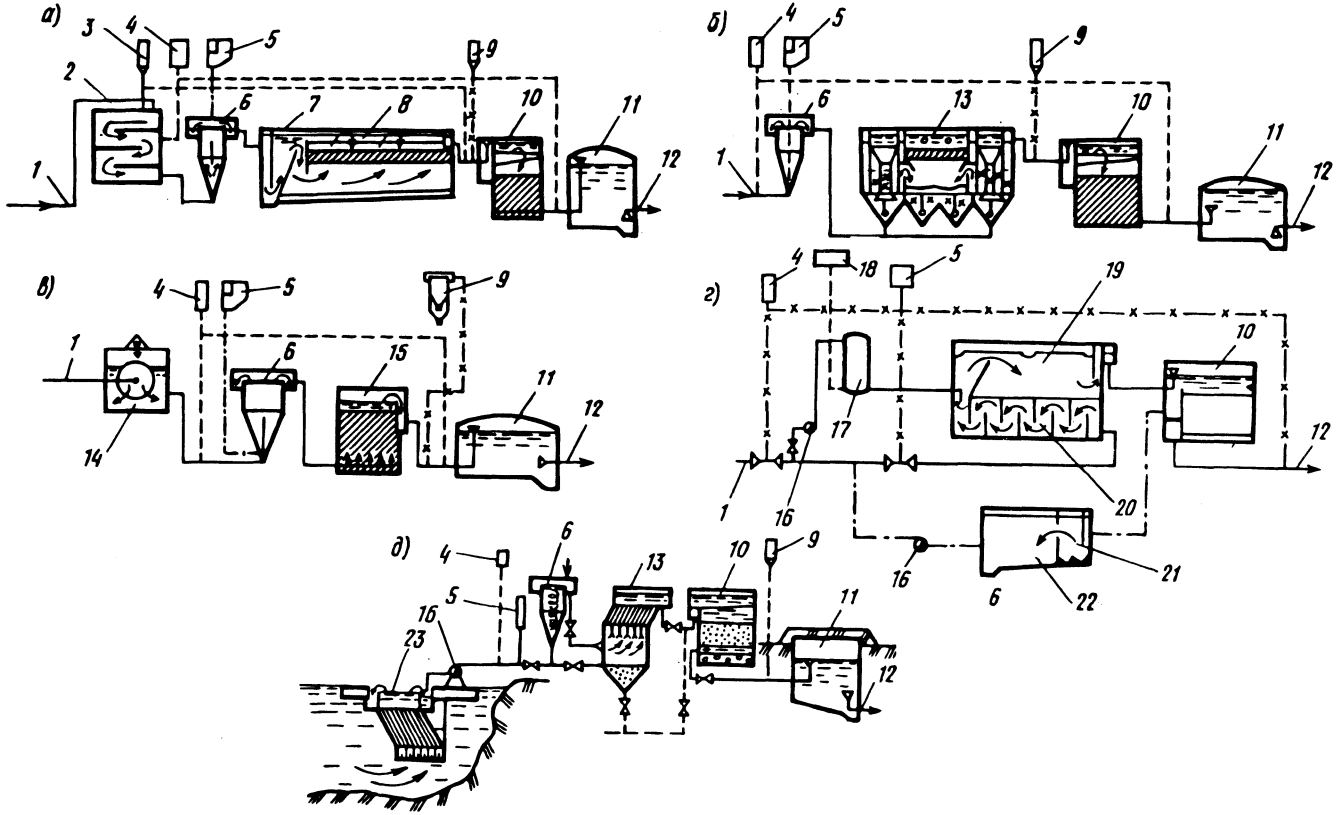
Технологическую схему очистки воды выбирают в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, назначения водопровода, производительности станции и местных условий, а также на основании данных технологических исследований и эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях. Ориентировочный выбор технологической схемы для осветления и обесцвечивания воды до питьевой кондиции может быть осуществлен согласно табл. 5.2.

Так, для обработки небольших расходов цветной и мутной воды вместо горизонтальных отстойников следует использовать вертикальные (см. рис. 5.2), вместо смесителей можно использовать сопла Вентури или шайбы. При очистке маломутных цветных вод обычно применяется одноступенчатая схема с фильтрами или контактными осветлителями без камер хлопьеобразования и отстойников.

Выбор водоочистных сооружений и оптимального состава реагентов производится на основании данных химического и технологического анализов обрабатываемой воды. Некоторые решения могут быть приняты априорно на основании опыта эксплуатации водоочистных комплексов в аналогичных условиях.

Использование солей железа в качестве коагулянтов предпочтительнее при длительном весеннем паводке, сопровождающемся значительным снижением температуры обрабатываемой воды. Применение активированной кремнекислоты в качестве флокулянта рекомендуется при обработке цветных вод, а для мутных используются полиакриламид, К-4 и др.

Вертикальные смесители рекомендуется предусматривать в схемах с осветлителями со слоем взвешенного осадка и контактными осветлителями, так как помимо смешения они обеспечивают и воздухоотделение.


а)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
б)
1
4
5
6
9
10
11
12
13
в)
1
4
5
6
9
11
12
14
15
г)
1
4
5
10
12
16
17
18
19
20
д)
4
5
6
9
10
11
12
13
16
21
22
23

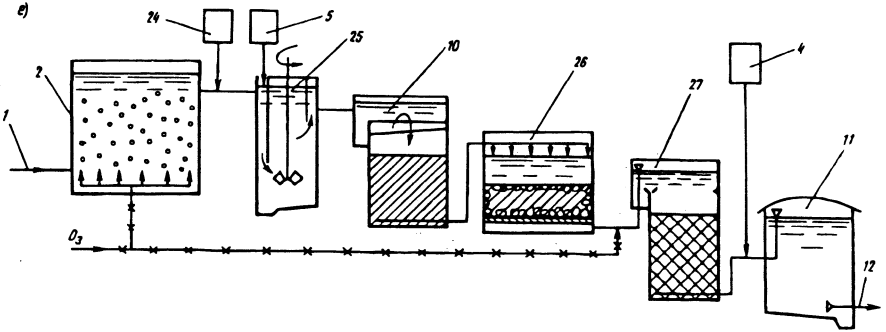


Рис. 5.2. Реагентные технологические схемы водоподготовки с отстойниками (*а*), осветлителями со слоем взвешенного осадка (*б*), контактными осветлителями и микрофильтрами (*в*), флотаторами (*г*), отстойниками-осветлителями на плаву (*д*), для обработки воды повышенного антропогенного воздействия (станция Ленгг, Швейцария, *е*): *1, 12* — подача исходной и отвод обработанной воды; *2* — контактная камера; *3, 4, 5, 9, 24* — установки соответственно углевания, хлорирования, коагулирования, фторирования и известкования; *6, 25* — вертикальный и механический смесители; *7* — вихревая камера хлопьеобразования; *8* — горизонтальный отстойник со встроенными тонкослойными модулями; *10, 26* — скорый и биологический фильтры; *11* — резервуар чистой воды; *13* — осветлитель со слоем взвешенного осадка и с рециркуляторами осадка; *14* — микрофильтр (барабанное сито); *15* — контактный осветлитель; *16* — насос; *17* — напорный бак; *18* — компрессор; *19* — флотатор; *20* — перегородчатая камера хлопьеобразования; *21* — песколовка; *22* — резервуар-усреднитель; *23* — водозабор-осветлитель с тонкослойными модулями; *27* — сорбционный фильтр с ГАУ

Таблица 5.2

Выбор сооружений станции очистки воды, предназначенной для хозяйственно-питьевых целей (рекомендации СНиП 2.04.02-84*)

Основные сооружения	*Мутность исходной воды, мг/л*	*Цветность исходной воды, град*	*Производительность станции, $м^3$/сут*
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов			
1.Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование):			
а) напорные	До 30	До 50	До 5000
б) открытые	» 20	» 50	» 50 000
2. Вертикальные отстойники — скорые фильтры	» 1500	» 120	» 5000
3.Горизонтальные отстойники — скорые фильтры	» 1500	» 120	Св. 30 000
4. Контактные префильтры — скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование)	» 300	» 120	Любая
5. Осветлители со взвешенным осадком — скорые фильтры	Не менее 50, до 1500	» 120	Св. 5000
6. Две ступени отстойников — скорые фильтры	Более 1500	» 120	Любая
7. Контактные осветлители	До 120	» 120	То же
8. Горизонтальные отстойники и осветлители со взвешенным осадком для частичного осветления воды	» 1500	» 120	»
9. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	» 80	» 120	»
10. Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	Св. 1500	» 120	»
11. Трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления (типа «Струя»)	До 1000	» 120	До 800
Обработка воды без применения коагулянтов и флокулянтов			
12. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	До 150	До 120	Любая
13. Радиальные отстойники воды для частичного осветления воды	Более 1500	» 120	То же
14. Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией песка	До 1500	» 50	»

При осветлении высокомутных вод для I ступени осветления могут быть рекомендованы тонкослойные и радиальные отстойники, гидро- и мультициклоны, акустические фильтры и др. Для извлечения из воды планктона или плавающих примесей используют флотаторы, микрофильтры или барабанные сетки. В прямоточных реагентных схемах со скорыми фильтрами рекомендуется использовать контактные фильтры. Для вод повышенного антропогенного воздействия могут применяться озонирование, биореакторы, сорбционные угольные фильтры, биосорберы, биофильтры (см. рис. 5.2, *е*).

5.3. Коагулирование примесей воды. Реагентное хозяйство

Примеси, находящиеся в воде, имеют весьма малые размеры, и осаждение их происходит крайне медленно, так как силы диффузии превалируют над силами тяжести.

Для ускорения процесса осаждения, фильтрования и повышения эффективности осветления и обесцвечивания воды прибегают к коагулированию. Коагулирование — это процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частиц вследствие их слияния под действием силы молекулярного притяжения. Укрупненные агрегаты слипшихся частиц отделяются от жидкой фазы осаждением.

В качестве коагулянтов, добавляемых в воду, обычно используются соли алюминия и железа: сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, сульфат железа (II) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, сульфат железа (III) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_20$, хлорид железа (III) $FeCl_3$, а также аллюминат натрия $NaAlO_2$, оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ и др.

Доза коагулянта (мл/л; г/м^3) для вод разного состава не одинакова и устанавливается путем опытного (пробного) коагулирования обрабатываемой воды. Для ориентировочных подсчетов дозу коагулянта можно определить по СНиП 2.04.02-84*. Так, в пересчете на безводные $FeSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ дозу следует принимать при обработке мутных вод (в зависимости от содержания примесей) равной 25–125 мг/л. При коагулировании воды с повышенной цветностью ориентировочная доза коагулянта находится по формуле $Д_к = 4\sqrt{Ц}$, где Ц — цветность воды, град.

Коллоидные и взвешенные частицы примесей природных вод в большинстве случаев имеют одинаковые заряды, что приводит к возникновению межмолекулярных сил отталкивания

и к агрегативной устойчивости. При очистке агрегативную устойчивость стремятся нарушить, а заряд частиц снизить.

При добавлении коагулянтов нарушается агрегативная устойчивость системы, снижается заряд частиц до нуля или малых значений. Параллельно, вследствие гидролиза, образуются коллоиды, которые сорбируют частицы примесей:

$$Al_2(SO_4)_3+6H_2O \leftrightarrow 2Al(OH)_3+6H^++3SO_4^{2-};$$

$$FeCl_3+3H_2O=Fe(OH)_3+3H^++3Cl^-.$$

Необходимым условием полного протекания гидролиза является удаление из сферы реакции ионов H^+. Ионы водорода ассоциируют с бикарбонатными ионами, присутствующими, как правило, в природных водах и определяющими ее щелочность:

$$H^++HCO_3^- \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow CO_2\uparrow+H_2O.$$

Полнота гидролиза имеет большое значение для коагуляции и качества очищенной воды, так как концентрация ионов Al^{3+} в питьевой воде строго регламентирована ($Al^{3+} \le 0{,}3$ мг/л).

При недостатке щелочности исходная вода подщелачивается. С этой целью может быть использована известь CaO или кальцинированная сода Na_2CO_3. Для интенсификации процессов коагуляции иногда применяют специальные химические реагенты — флокулянты (активная кремниевая кислота, полиакриламид и др.), способствующие образованию более крупных хлопьев.

Процесс коагулирования примесей воды можно улучшить путем удаления углекислоты из зоны реакции продувкой воздухом.

Гидроксиды железа и алюминия в воде при обычных значениях pH почти нерастворимы. Хлопья частиц гидроксила осаждаются, адсорбируя и увлекая с собой нерастворенные взвешенные частицы ила, клеток планктона, остатков растений и т. п. Это явление укрупнения частиц при столкновении их и осаждении носит название флокуляции. Гидроксиды железа и алюминия — хорошие сорбенты. Они сорбируют на своей поверхности бактерии, гуминовые вещества и даже некоторые растворенные соединения, например ионы тяжелых металлов. На поверхности гидроокисей также могут адсорбироваться растворенные органические вещества, обусловливающие привкусы и запахи.

На процесс коагуляции в свободном объеме (конвективной коагуляции) оказывают влияние следующие факторы: концентрация водородных ионов в воде, pH, анионный состав воды, правильный выбор дозы коагулянта (что видно из коагуляционной кривой на рис. 5.3), щелочность, температура воды (влияет на первый этап коагуляции — перекинетический), быстрота смешения коагулянта с водой (влияет на второй этап коагуляции — ортокинетический), содержание в воде естественных взвесей. Коагуляция в свободном объеме осуществляется в камерах хлопьеобразования.

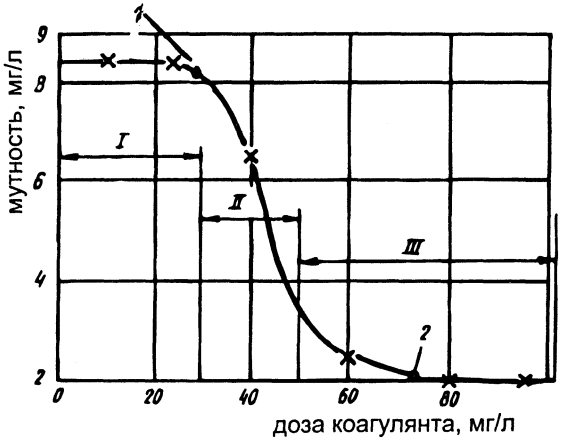


Рис. 5.3. Коагуляционная кривая:
1 — порог коагуляции; *2* — оптимальная доза; *I зона* — эффект осветления и обесцвечивания незначительный; *II зона* — увеличение дозы коагулянта приводит к резкому повышению эффекта осветления и обесцвечивания; *III зона* — дальнейшее увеличение дозы коагулянта не приводит к улучшению результата

Контактная коагуляция — процесс осветления и обесцвечивания воды, заключающийся в адсорбции примесей с нарушенной агрегативной устойчивостью на поверхности зерен контактной массы. Характерной особенностью контактной коагуляции является большая скорость процесса в сочетании с высоким эффектом при меньших затратах коагулянта. Интенсивность прилипания мелких примесей к относительно крупным зернам загрузки намного превосходит скорость агломерации отдельных мелких частиц в свободном объеме жидкости, так как они несут небольшие электрические заряды и значительно легче прилипают к крупным зернам, лишенным зарядов, чем друг к другу. Други-

ми особенностями контактной коагуляции являются независимость процесса от щелочности и температуры воды, меньшее влияние pH воды и др. Контактная коагуляция происходит в осветителях со слоем взвешенного осадка, на контактных фильтрах и на контактных осветителях.

Для осуществления процесса коагулирования в воду вместо коагулянтов могут быть введены ионы тяжелых металлов, полученные электрохимическим путем. С этой целью воду пропускают через электролизер с опущенными в него электродами — анодом (из алюминия и железа) и катодом. Питание электролизера — от источника постоянного или переменного тока. Вода обогащается ионами железа или алюминия. Ионы железа (II) окисляются в трехвалентную форму. Трехвалентные ионы железа или алюминия гидролизуются с образованием гидроксидов, которые коагулируют, образуя хлопья. На процесс растворения анода влияют физико-химические, электрические и гидродинамические факторы: pH, солевой состав, температура, материал электрода, плотность тока, частота смены полярности, скорость движения воды в межэлектродном пространстве и др.

Реагенты, применяемые для очистки воды, готовят непосредственно на водоочистном комплексе. Состав и насыщенность реагентного хозяйства зависят от принятой технологии улучшения качества воды. Помимо цехов коагулирования, хлорирования, известкования могут быть цехи фторирования, углевания и др.

Хранят реагенты в сухом виде навалом, в специальной таре или в виде концентрированных растворов (коагулянт 17–24 %-ной концентрации, считая по чистому безводному продукту) в баках-хранилищах без перемешивания или продуктов, залитых водой (СНиП 2.04.02-84*). Чтобы избежать потерь коагулянта от слеживания и упростить погрузочно-разгрузочные работы, предпочтение отдают второму способу.

Склады реагентов, за исключением хлора и аммиака, размещают вблизи оборудования для приготовления их растворов или суспензий.

Хлор хранят в баллонах вместимостью до 30 до 100 кг или в бочках, рассчитанных на 700–3000 кг жидкого хлора, на расходных складах, располагаемых в пониженных точках площадки водоочистных сооружений, а хлорную известь — в деревянных бочках вместимостью 100 и 275 л и полиэтиленовых мешках объемом 75 л на отдельном складе.

Раствор (или суспензию) реагента готовят в растворных и расходных баках, число которых принимают соответственно

не менее 3 и 2. Для интенсификации растворения реагентов предусматривают барботаж, механическое перемешивание или непрерывную циркуляцию раствора с помощью насоса.

При производительности водоочистных сооружений до 1000 м^3/сут растворные и расходные баки совмещают, а при большей — их устанавливают отдельно и размещают в верхней части здания. Концентрация раствора коагулянта, считая по безводному продукту, принимается в растворных баках до 17 % для неочищенного, до 20 % для очищенного кускового, до 24 % для очищенного гранулированного и в расходных — до 12 %. Внутреннюю поверхность баков необходимо облицовывать кислотостойкими материалами от агрессивного воздействия растворов коагулянтов.

Раствор (полиакриламида) ПАА 0,1–1,0 %-ной концентрации из гелеобразного или сухого технического продукта готовят в баках с механическими лопастными мешалками (частота вращения вала 800–1000 мин$^{-1}$) или гидравлической циркуляцией. Производительность аппарата принимают с учетом времени полного цикла приготовления раствора из сухого или гелеобразного ПАА, равного соответственно 2 ч и 25–40 мин. Число мешалок и объем расходных баков определяют исходя из срока хранения запасов раствора ПАА (до 15 сут). Схемы приготовления растворов коагулянта и флокулянта представлены на рис. 5.4.

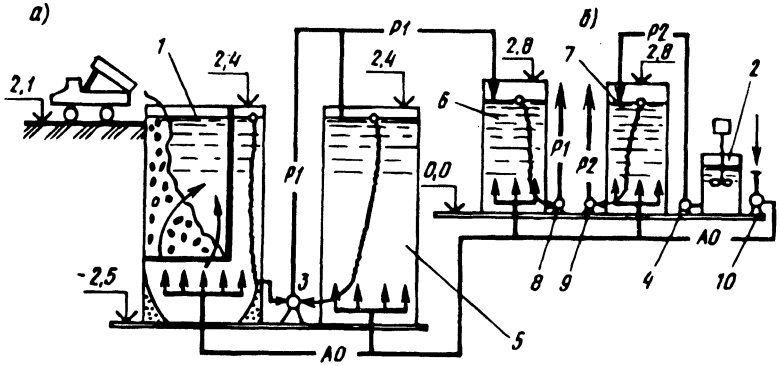


Рис. 5.4. Схемы приготовления растворов коагулянта (*а*) и флокулянта (*б*):

Р1, *Р2* — трубопроводы раствора коагулянта и флокулянта; *АО* — воздухопровод; *1*, *2* — растворные баки коагулянта и флокулянта; *3*, *4* — насосы перекачки растворов коагулянта и флокулянта; *5* — бак-хранилище; *6*, *7* — расходные баки коагулянта и флокулянта; *8*, *9* — насосы-дозаторы; *10* — воздуходувка

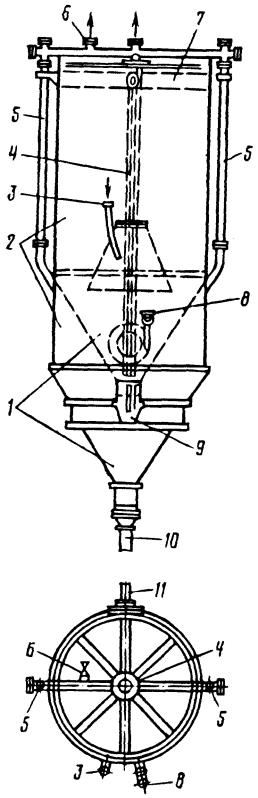


Рис. 5.5. Схема двухкамерного сатуратора «Струя»:
1, 2 — зоны насыщения и осветления нижней и верхней камер сатуратора; *3* — ввод в сатуратор известкового молока; *4, 5* — трубы для передачи известкового раствора из нижней камеры аппарата в верхнюю; *6* — удаление воздуха; *7* — кольцевой сборный желоб готового раствора; *8* — подача воды; *9* — клапан перепуска известкового молока из верхней в нижнюю камеру; *10* — выпуск осадка; *11* — отвод насыщенного раствора

Технология известкования воды зависит от назначения, места ввода, количества реагента и вида заводского продукта. Так, при суточном расходе извести до 50 кг (по CaO) разрешается схема с использованием известкового раствора, предусматривающая склад мокрого хранения, устройство для отбора теста, вертикальный отстойник или гидроциклон для осветления известкового молока, сатуратор двойного насыщения (рис. 5.5) и дозатор. При большем расходе извести известковое молоко или раствор готовят в баках, число которых при-

нимают не менее двух. Они должны иметь конические днища с наклоном не менее 45 град и сбросные трубы диаметром не менее 100 мм. Концентрация известкового молока в расходных баках должна быть не более 5 %, считая по CaO. Известковое молоко перемешивают циркуляционным насосом или механической мешалкой.

Содовый раствор концентрацией 5–8 % делают в специальных баках. Угольную пульпу для углевания готовят в баках с гидравлическим или механическим перемешиванием путем замачивания угля в течение 1 часа. Концентрацию пульпы принимают 5–10 %, скорость ее движения в трубопроводах — не менее 1,5 м/с.

Дозаторы растворов коагулянта и других реагентов бывают трех видов: дозаторы постоянной дозы; пропорциональные дозаторы, которые автоматически меняют дозу в соответствии с изменяющимся расходом воды; насосы-дозаторы.

К автоматически действующим относится дозатор, предложенный В.Л. Чейшвили и И.Л. Крымским. Его действие основано на использовании разности электропроводности еще не коагулированной воды и этой же воды после введения в нее коагулянта.

К вышеуказанным дозаторам относятся также разработанные ВНИИ ВОДГЕО дозаторы типа ДИМБА (дозатор известкового молока бункерный автоматический). Они регулируют подачу реагента (поддерживая заданное значение pH) пропорционально расходу воды. Их можно использовать и для дозирования раствора коагулянта. Широко применяются насосы-дозаторы. Их подача меняется в широких пределах.

5.4. Смешение реагентов с обрабатываемой водой

Основополагающим условием коагулирования примесей воды является равномерное и быстрое распределение реагентов в ее объеме для обеспечения максимального контакта частиц примесей с промежуточными продуктами гидролиза, существующими в течение короткого промежутка времени, так как процессы гидролиза, полимеризации и адсорбции протекают за несколько секунд. Первая фаза конвективной коагуляции — перекинетическая — заканчивается, когда первичные хлопья достигают размеров 1–10 мкм, что совпадает с периодом быст-

рого распределения коагулянта в обрабатываемой воде. Плохое смешение влечет за собой перерасход реагентов и малую скорость агломерации примесей воды при заданной дозе. Поэтому необходимо обеспечить оптимальные условия смешения реагентов с водой, при которых коагулянт вступил бы в контакт с максимальным числом частиц примесей воды до того, как произойдут реакции гидролиза и полимеризации.

Интенсивность смешения реагентов с водой характеризуется критерием Кэмпа GT и градиентом скорости G, определяемым из выражения

$$G = [E/(\eta TV)]^{0,5},$$

где E — энергия, затрачиваемая на смешение, Дж; η — динамическая вязкость воды, Па · с; T — продолжительность смешения, с; V — объем воды в смесителе, м^3.

Эффективность действия коагулянта (Е.И. Апельцина, А.М. Мирзаев) повышается при увеличении интенсивности смешения по сравнению с обычно принятой ($G = 20–300$ с$^{-1}$).

При этом дозы реагентов и время, необходимые для их полного распределения в воде, уменьшаются с повышением градиента скорости. В водоподготовке наметилась тенденция к применению смесителей, обеспечивающих чрезвычайно быстрое распределение коагулянта в обрабатываемой воде. В основном это механические и трубчатые смесители.

Для равномерного и быстрого смешения реагентов с водой их следует вводить в точках наибольшей турбулентности потока.

Реагенты смешивают с обрабатываемой водой в смесительных устройствах (сопла Вентури, диафрагмы), трубчатых смесителях или в специальных сооружениях — смесителях, которые должны удовлетворять требованию полного и быстрого смешения реагентов со всей массой воды (время пребывания воды в этих сооружениях 1–3 мин).

Смесители классифицируют на гидравлические и механические. К гидравлическим смесителям, хорошо зарекомендовавшим себя на практике, следует отнести: коридорного типа (с вертикальным и горизонтальным движением воды); дырчатый (напорный и безнапорный); перегородчатый с разделением потока; вертикальный вихревой. Выбор типа и конструкции смесителя определяется компоновкой водоочистного комплекса с учетом его пропускной способности и методов обработки воды, а также технологическими соображениями.

Работа смесителей гидравлического типа основана на использовании турбулентности потока, создаваемой местными сопротивлениями путем увеличения в них скорости движения воды. Гидравлические смесители отличаются конструктивной простотой и эксплуатационной надежностью, однако при расходах обрабатываемой воды меньше расчетных они не обеспечивают надлежащего эффекта смешения. Число секций смесителей принимается не менее двух, резервные аппараты не предусматриваются.

Одним из приемов интенсификации и улучшения процесса коагуляции является мгновенное перемешивание воды с коагулянтом в *диафрагмовом смесителе* перед поступлением ее в камеру хлопьеобразования или на контактные осветлители или фильтры. Использование этого устройства на установках небольшой пропускной способности позволяет создать наиболее благоприятный режим для смешения, в результате чего расход коагулянта может быть снижен на ~ 25 %.

Широкое распространение получили *перегородчатые смесители* с разделением потока. Такой смеситель представляет собой железобетонный лоток с тремя (как минимум) щелевыми перегородками (рис. 5.6, *а*), установленными перпендикулярно оси сооружения. При движении в щелях со скоростью 1 м/с за ними образуются вихревые течения, что способствует быстрому и полному смешению реагента с водой. Расстояния между перегородками должны равняться двойной ширине лотка.

Дырчатый смеситель (рис. 5.6, *б*) представляет собой лоток с дырчатыми перегородками, установленными перпендикулярно направлению движения воды. Вода, проходя через отверстия со скоростью 1 м/с, испытывает завихрения, что способствует ее хорошему перемешиванию с реагентами. Диаметр отверстий принимают 20–100 мм. Верхний ряд отверстий должен быть затоплен под уровень воды на 0,1–0,15 м во избежание подсоса воздуха.

Для водоочистных комплексов с осветлителями со слоем взвешенного осадка или с контактными осветлителями рекомендуются *вертикальные* (*вихревые*) *смесители* в виде круглого (или квадратного) в плане резервуара с конической (или пирамидальной) нижней частью при угле конусности 30–45 град (рис. 5.6, *г*). В нижнюю часть конуса (или пирамиды) подводят обрабатываемую воду со скоростью 1,2–1,5 м/с и туда же, только с противоположной стороны, через специальные патрубки вводят растворы реагентов.

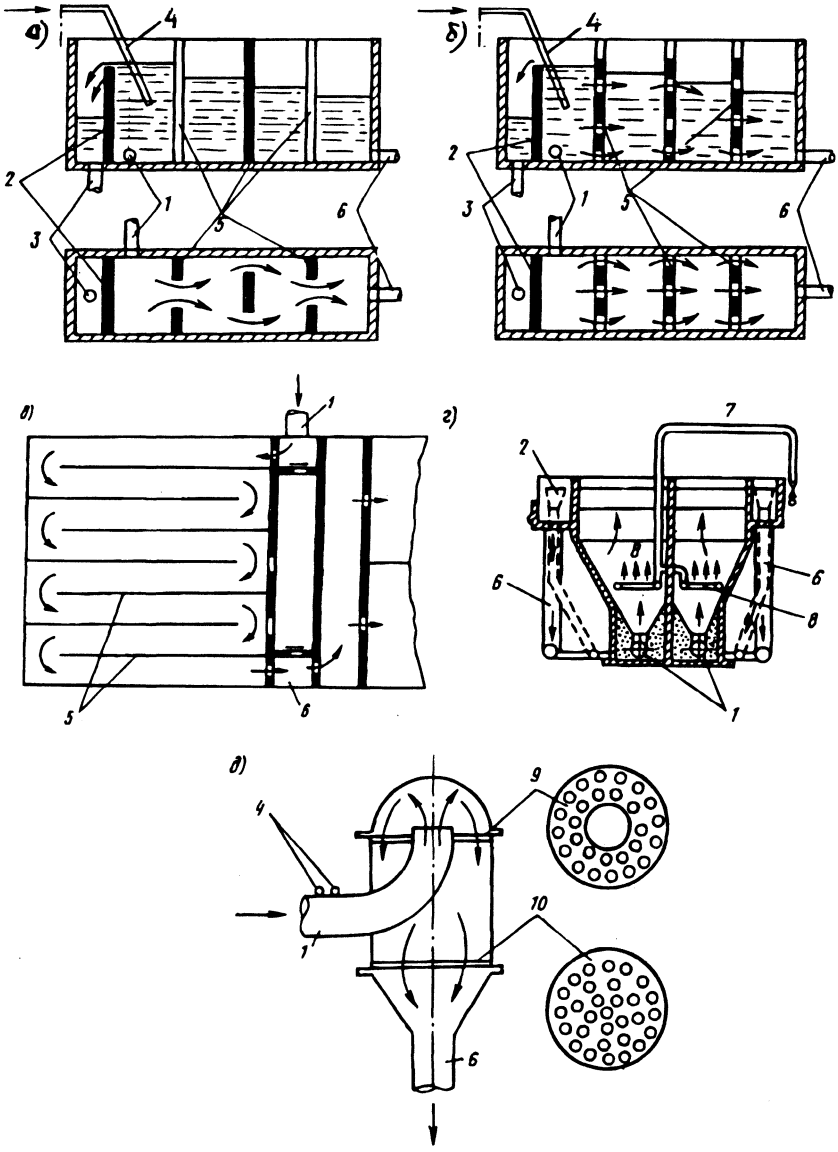


Рис. 5.6. Смесители гидравлического типа с разделением потока (*а*), дырчатый (*б*), перегородчатый (*в*), вихревой (*г*), напорный дырчатый (*д*):

1, 6 — подача и отвод воды; *2* — перелив; *3* — сброс из бачка воды; *4* — ввод реагента; *5* — перегородки; *7* — воздухопровод; *8* — аэраторы; *9, 10* — верхняя и нижняя дырчатые перегородки

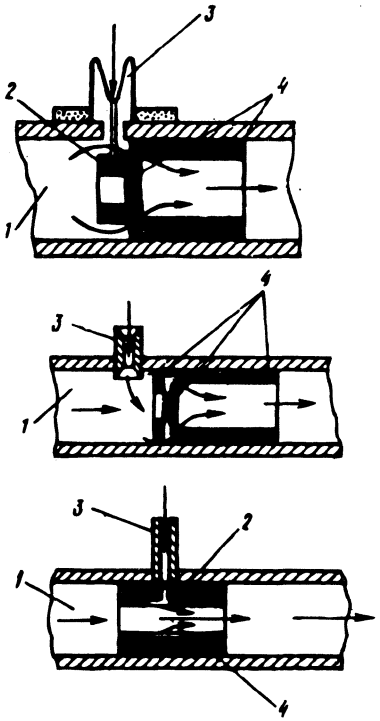


Рис. 5.7. Трубчатые смесители:
1 — трубопровод; *2* — распределитель реагента; *3* — подача реагента; *4* — местное сопротивление

Восходящая скорость движения воды в цилиндрической части смесителя высотой 1–1,5 м должна быть 30–40 мм/с, благодаря чему частицы реагента находятся во взвешенном состоянии. Отвод воды из смесителя производится периферийным лотком со скоростью 0,6 м/с, или дырчатыми трубами с затопленными отверстиями, или центрально расположенной затопленной воронкой.

На крупных водоочистных комплексах применяют *перегородчатые смесители коридорного типа* (рис. 5.6, *в*) с вертикальным или горизонтальным движением воды со скоростью 0,6–0,9 м/с при времени пребывания в них 3–5 мин. Число поворотов на 180 град принимают равным 9–10. Следует предусматривать возможность сокращения числа перегородок для уменьшения времени пребывания обрабатываемой воды в смесителе в периоды интенсивного хлопьеобразования.

На небольших водоочистных установках применяют *трубчатые смесители* (рис. 5.7), которые характеризуются значительными потерями напора.

Для смешивания растворов реагентов с водой в нашей стране применяют в основном смесители гидравлического типа, иногда смешивание производят в трубах и центробежных насосах, подающих воду на очистные сооружения. Недостатком рассмотренных способов смешивания является невозможность регулирования степени турбулизации и времени пребывания в смесителе в зависимости от расхода обрабатываемой воды и ее качества.

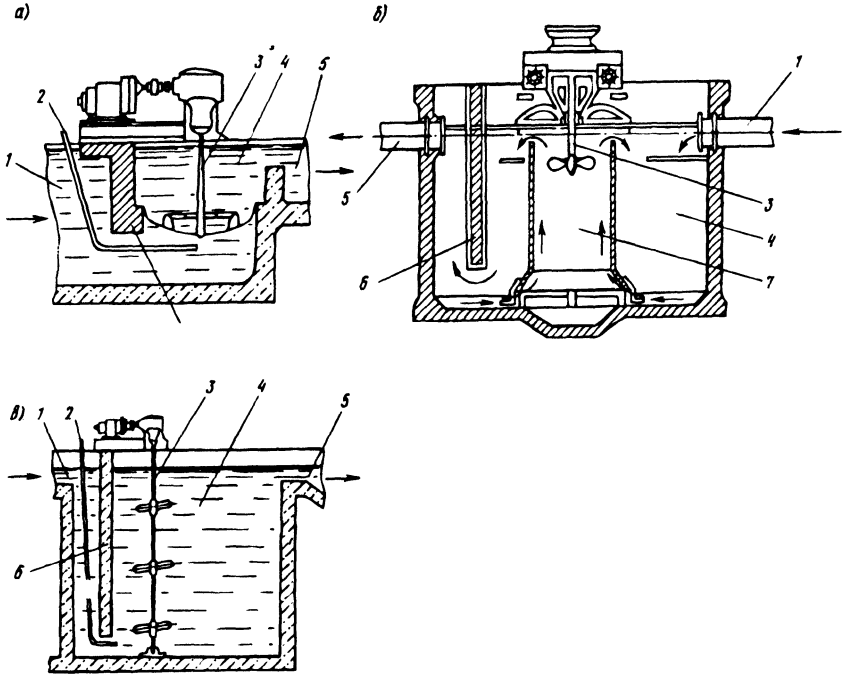


Рис. 5.8. Механические смесители турбинного (*а*), пропеллерного (*б*) и лопастного (*в*) типов:
1, *5* — подача и отвод воды; *2* — ввод реагента; *3* — ось мешалки; *4* — камера смешения; *6* — струенаправляющая перегородка; *7* — центрально расположенный стакан

Оптимальный эффект коагуляции обеспечивает очень быстрый перенос частиц, который возможен только в высокоскоростных механических смесителях с мешалками лопастного, турбинного и пропеллерного типа (рис. 5.8), где происходят

практически мгновенное распределение реагента во всем объеме воды и быстрое получение оптимальной концентрации. Такие смесители позволяют уменьшить время коагуляции, сократить дозу коагулянта и при наиболее полном использовании реагентов увеличить плотность образующихся хлопьев.

Механические смесители представляют собой круглые или квадратные в плане камеры с соотношением высоты к ширине (диаметру) 2 : 1 с плоским или коническим днищем. Частота их вращения изменяется и обычно не превышает 80 мин$^{-1}$ для турбинных мешалок с максимальной линейной скоростью на конце лопасти до 5 м/с и до 150 мин$^{-1}$ для пропеллерных. Время пребывания воды составляет от 30 с до 1 мин.

Исследования механических смесителей, проведенные в МГСУ (Г.И. Николадзе, А.М. Мирзаев), показали, что их применение позволяет снизить удельные капитальные затраты, уменьшить расход коагулянта, сократить время пребывания воды в отстойниках и осветлителях со слоем взвешенного осадка, регулировать параметры смешивания адекватно количеству и качеству обрабатываемой воды.

5.5. Камеры хлопьеобразования

Для завершения второй стадии конвективной коагуляции примесей воды — ортокинетической — используют камеры хлопьеобразования, которые предназначены для создания оптимальных условий для хлопьеобразования. На эффективность процесса и размеры формирующихся хлопьев при медленном перемешивании обрабатываемой воды влияют его интенсивность (градиент скорости) и продолжительность; характер и дисперсность примесей; солевой состав, щелочность и pH воды; доза коагулянта, а также силы адгезии, удерживающие частицы примесей в агломерированном состоянии. Агломерация образующихся в процессе гидролиза коагулянта хлопьев происходит постепенно в течение 6–30 мин и более.

Существенное влияние на процесс хлопьеобразования оказывают интенсивность и продолжительность перемешивания обрабатываемой воды в камерах хлопьеобразования. При этом основополагающей является интенсивность перемешивания $G = 50–60$ с$^{-1}$; влияние продолжительности процесса проявляется в меньшей степени.

Интенсивность перемешивания воды в камерах хлопьеобразования не должна быть большой, чтобы не разрушить образовавшиеся хлопья. Необходимая интенсивность перемешивания воды достигается изменением скорости ее движения или частоты вращения мешалки во флокуляторах, а оптимальная продолжительность процесса обеспечивается надлежащим объемом сооружения.

По принципу действия камеры хлопьеобразования классифицируют на *гидравлические* и *механические* (*флокуляторы и аэрофлокуляторы*). Из камер гидравлического типа предпочтение отдают водоворотным (рис. 5.9), вихревым (рис. 5.10, *а*), перегородчатым и зашламленного типа (рис. 5.10, *б*). Все камеры, кроме перегородчатых, встраивают в отстойники. При числе камер хлопьеобразования менее 6 согласно СНиП 2.04.02-84* необходимо предусматривать одну резервную. Конструкцию камеры хлопьеобразования следует выбирать исходя из качества исходной воды и типа отстойника.

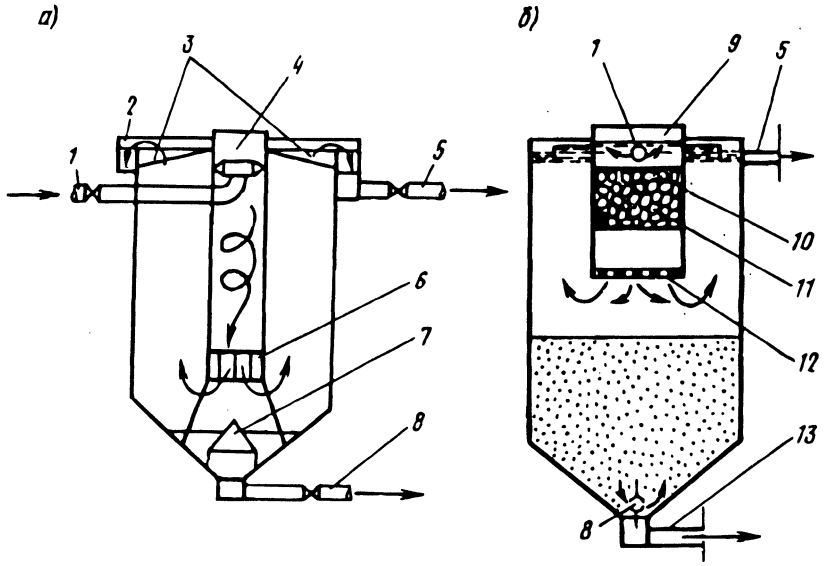


Рис. 5.9. Водоворотная (*а*) и контактная (*б*) камеры хлопьеобразования, совмещенные с вертикальным отстойником:
1, *5* — подача исходной и отвод осветленной воды; *2* — кольцевой водосборный лоток; *3* — радиальные лотки; *4*, *9* — водоворотная и контактная камеры хлопьеобразования; *6* — гаситель; *7* — конус-отражатель; *8* — сброс осадка; *10*, *12* — верхняя и нижняя решетки; *11* — вспененный полистирол; *13* — сброс осадка

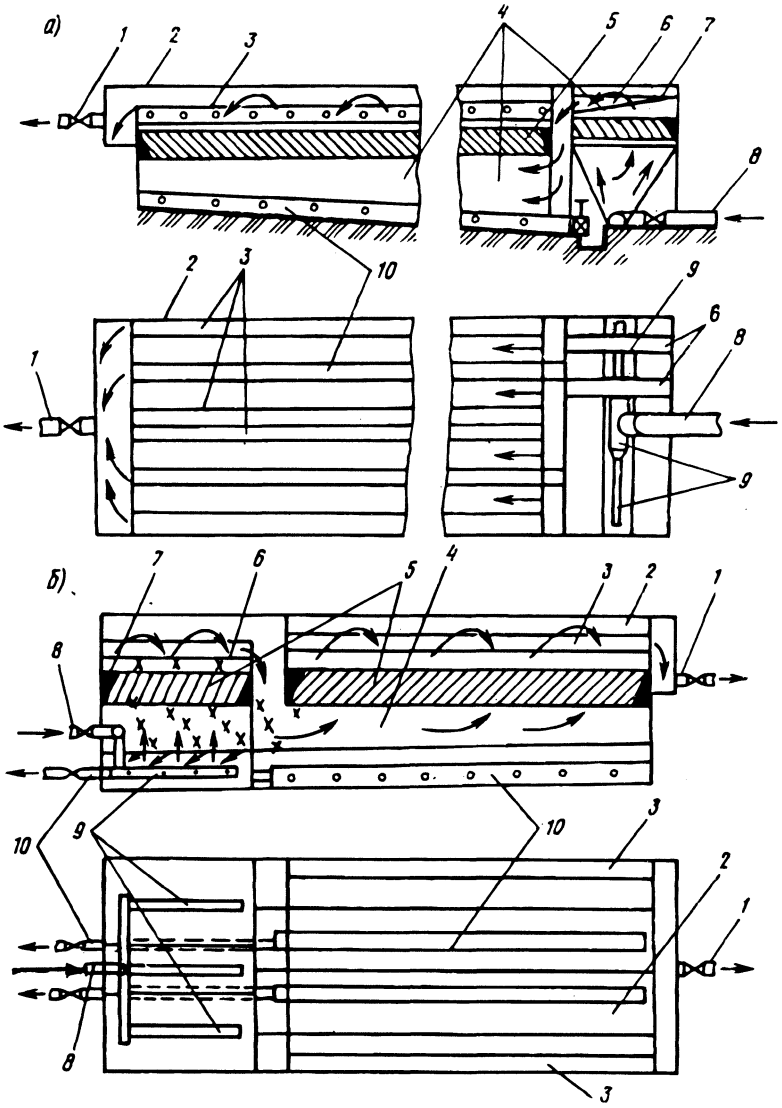


Рис. 5.10. Вихревая (*а*) и зашламленного типа (*б*) камеры хлопьеобразования, встроенные в горизонтальный отстойник:
1, 8 — отвод осветленной и подача исходной воды; *2* — горизонтальный отстойник; *3* — лоток децентрализованного отбора осветленной воды; *4* — зона осветления воды; *5* — тонкослойные модули; *6* — лотки для сбора и отведения воды; *7* — вихревая камера хлопьеобразования; *9* — водораспределительные перфорированные трубы; *10* — перфорированные трубы сбора и удаления осадка

К камерам хлопьеобразования гидравлического типа, хорошо зарекомендовавшим себя на практике, помимо указанных выше следует отнести камеры с псевдоожиженной зернистой загрузкой, с циркуляцией осадка, с контактной загрузкой.

Водоворотная камера хлопьеобразования совмещается с вертикальным отстойником и располагается в центральном стакане (рис. 5.9, *а*). Вода распределяется в верхней части камеры соплом, расположенным на расстоянии 0,2 диаметра камеры от стенки, на глубине 0,5 м от поверхности воды, или соплами, закрепленными в ее центре в виде неподвижного сегнерова колеса. Выходя из сопел со скоростью 2–3 м/с, вода приобретает вращательное движение вдоль ее стенок и движется сверху вниз. Для гашения вращательного движения воды при ее переходе в отстойник, которое могло бы ухудшить его работу, внизу камеры устанавливают гаситель в виде решетки высотой 0,8 м с ячейками 0,5 × 0,5 м. Время пребывания воды в камере принимают 15–20 мин, а ее высоту — 3,5–4 м.

Перегородчатая камера хлопьеобразования (примыкает к горизонтальным отстойникам) представляет собой прямоугольный железобетонный резервуар с перегородками, образующими 9–10 коридоров шириной не менее 0,7 м, через которые последовательно проходит вода со скоростью 0,2–0,3 м/с в начале камеры и 0,05–0,1 м/с в конце. За счет увеличения ширины коридоров можно регулировать продолжительность пребывания обрабатываемой воды в камере в зависимости от ее качества.

Дно коридоров камеры выполняют с продольным уклоном 0,02–0,03 для удаления осадка при чистке. Среднюю глубину камеры принимают 2–2,5 м, продолжительность пребывания воды в камере — 20–30 мин (минимальное время для мутных вод, максимальное — для цветных вод с пониженной температурой).

Вихревая камера хлопьеобразования (рис. 5.10, *а*) выполняется в виде прямоугольного в плане железобетонного с коническим или пирамидальным днищем резервуара (с углом конусности 50–70 град, обращенным вниз). Перемешивание воды в камере хлопьеобразования происходит при ее движении снизу вверх вследствие уменьшения скорости движения (от 0,8–1,2 до 0,004–0,005 м/с) в результате резкого увеличения площади поперечного сечения. Время пребывания воды в камере составляет от 6 (для мутных вод) до 12 мин (для цветных вод). Передачу воды из камеры в отстойники следует осуществлять при

скорости ее движения в сборных лотках или трубах не более 0,05 м/с для цветных вод и 0,1 м/с — для мутных. Для интенсификации работы камеры в ее верхней части могут размещаться тонкослойные модули.

Камера хлопьеобразования зашламленного типа (рис. 5.10, *б*) с вертикальными перегородками применяется для вод с мутностью до 1500 мг/л. Ее размещают в начале коридора отстойника и выполняют в виде железобетонного с пирамидальным днищем резервуара (с углом конусности 45 град). В основаниях перевернутых пирамид размещают напорные перфорированные водораспределительные трубы, расстояние между которыми в осях 2 м, от стенки камеры — 1 м. Отверстия трубы диаметром не менее 25 мм направлены вниз под углом 45 град, их суммарная площадь составляет 30–40 % площади сечения распределительной трубы. Скорость движения воды в распределительных трубах 0,4–0,6 м/с.

Для соблюдения постоянства скорости движения воды перфорированные распределительные трубы необходимо выполнять телескопическими с косыми переходами.

При восходящей скорости потока 0,65–1,6 мм/с (для вод мутностью 50–250 мг/л) и 0,8–2,2 мм/с (для вод мутностью 250–1500 мг/л) образуется и поддерживается во взвешенном состоянии слой осадка из скоагулированных примесей высотой не менее 3 м, частицы которого являются центрами коагуляции. Время пребывания воды в камере не менее 20 мин. Применение подобных камер хлопьеобразования позволяет увеличить расчетную скорость осаждения взвешенных веществ в отстойниках при осветлении вод средней мутности на 15–20 % и мутных на 20 %. Передача воды из камеры в отстойник должна осуществляться при скорости ее движения до 0,1 м/с для мутных вод и до 0,05 м/с для цветных.

Для улучшения процесса хлопьеобразования при конвективном коагулировании примесей маломутных и цветных вод А.Б. Гальберштадтом предложена *гравийная камера* с псевдоожиженной зернистой загрузкой. Оптимальные условия протекания процесса хлопьеобразования создаются при использовании зернистой загрузки из крошки керамзита, песка и др. с эквивалентным диаметром 0,6–0,9 мм и высотой слоя в статических условиях 0,3–0,5 м, работающей при расширении на 10–15 %, что соответствует восходящей скорости потока 2,6–4,0 мм/с. Первоначально контактный слой загрузки покоится на слое гравия крупностью 5–20 мм и высотой 0,3–0,4 м.

Другая конструкция контактной камеры хлопьеобразования, но без поддерживающего гравийного слоя была предложена М.Г. Журбой. Для образования псевдоожиженного слоя использованы вспененные гранулы полистирола марки ПСВ крупностью 0,5–1,5 мм, удерживаемые в верхней части камеры дренажной сеткой. Первоначальная высота слоя гранул около 1 м. Восходящая скорость движения воды в камере 5–6 мм/с.

Использование контактных камер хлопьеобразования позволяет увеличить в 3–4 раза нагрузку на единицу объема камеры, снизить на 20–25 % расход коагулянта, уменьшить примерно в 1,5 раза продолжительность отстаивания воды в отстойниках.

При кондиционировании маломутных цветных вод хорошо зарекомендовала себя камера хлопьеобразования замшламленного типа с рециркуляцией осадка (рис. 5.11). Обрабатываемая вода, соплами вводимая в нижние части секций камеры со скоростью 1 м/с, поступает в центрально расположенные эжектируемые вставки и всасывает воду с осадком из объема секций. Таким образом, в каждой секции происходит непрерывное движение взвешенного осадка, обеспечивающее контактирование агрегативно неустойчивых примесей и их укрупнение. Постепенно обрабатываемая вода переходит из камеры в камеру и далее в отстойник. Время пребывания воды в камере 20–30 мин.

В *механических камерах хлопьеобразования* (*флокуляторах*), рекомендуемых СНиП 2.04.02-84* для обработки мутных вод и применяемых на крупных водоочистных комплексах (рис. 5.12, *а*), плавное перемешивание воды для завершения процесса ортокинетической коагуляции ее примесей осуществляется пропеллерными или лопастными мешалками, размещаемыми на горизонтальных или вертикальных осях. Мешалка имеет одну или несколько лопастей. Флокуляторы обычно встраивают в горизонтальные отстойники и рассчитывают на время пребывания воды в них 30–40 мин (до 60 мин при реагентном умягчении). Число мешалок принимают 3–5. Скорость течения воды во флокуляторе снижается по ходу потока от 0,5 до 0,1 м/с за счет сокращения частоты вращения мешалок или уменьшающейся по ходу движения воды площади их лопастей. Окружную скорость вращения мешалок принимают 0,3–0,5 м/с адекватно качеству исходной воды.

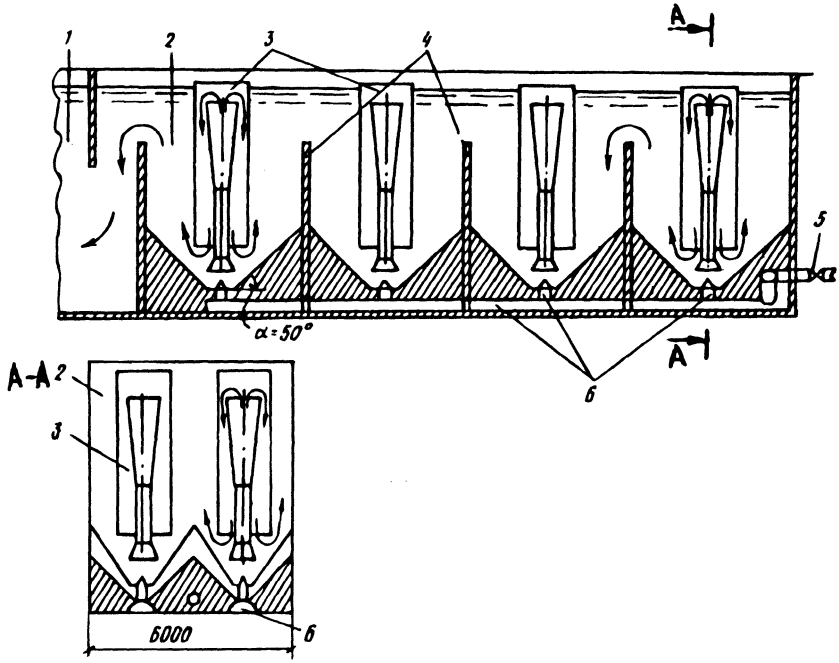


Рис. 5.11. Камера хлопьеобразования с рециркуляцией осадка:
1, 2 — отстойник и камера хлопьеобразования; *3* — рециркуляторы; *4* — перегородки, делящие объем камеры на последовательно работающие секции; *5* — подача исходной воды; *6* — распределительная труба с соплами

Флокуляторы с мешалками на вертикальных осях обычно оборудуют двигателями с переменной частотой вращения; при размещении мешалок на горизонтальных осях один двигатель обслуживает несколько мешалок. Мешалки располагают в начале коридора отстойника в два ряда и более и разделяют перегородками для циркуляции воды. Флокуляторы имеют различную форму в плане (квадратную, круглую и прямоугольную).

Преимуществами флокуляторов по сравнению с камерами гидравлического типа являются небольшие потери напора, простота конструкции, оптимизация процесса хлопьеобразования адекватно качеству обрабатываемой воды путем изменения частоты вращения мешалок; недостатками — дополнительный расход электроэнергии, высокие требования к материалам деталей, что удорожает сооружение в целом.

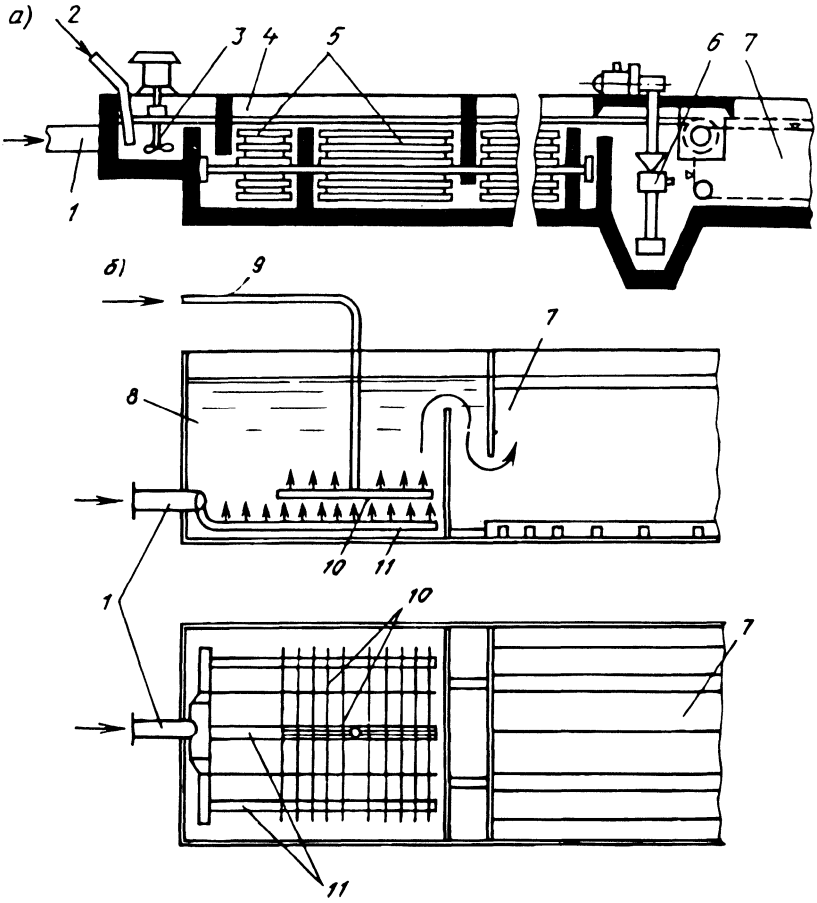


Рис. 5.12. Флокулятор (*а*) и аэрофлокулятор (*б*), совмещенные с горизонтальным отстойником:

1, *2* — подача воды и реагента; *3* — мешалка смесителя; *4* — флокулятор; *5* — мешалки на горизонтальной оси; *6* — грязевой насос; *7* — горизонтальный отстойник; *8* — камера флокулятора; *9* — подача воздуха; *10*, *11* — воздухо- и водораспределительные трубчатые перфорированные системы

Аэрофлокуляторы — барботажные камеры хлопьеобразования (рис. 5.12, *б*) получают все более широкое распространение в технологии водоподготовки благодаря дешевизне и доступности воздуха, невысокой стоимости оборудования, высокому эффекту хлопьеобразования. При этом работа, совершаемая воздухом, осуществляется за счет разности его плотности с водой.

По А.В. Бутко, эффект хлопьеобразования в аэрофлокуляторах достигается в результате четырех одновременно протекающих процессов: выделения из воды избыточных количеств диоксида углерода; окисления кислородом воздуха органических примесей; специфического механического перемешивания воды пузырьками воздуха и образования зародышей твердой фазы продуктов гидролиза на поверхности газовых пузырьков. В аэрофлокуляторах используют слабое пневматическое перемешивание, обычно с интенсивностью 0,15–0,25 $м^3/(м^2 \cdot мин)$, при этом расход воздуха не превышает 5 % расхода обрабатываемой воды.

Аэрофлокулятор представляет собой прямоугольную в плане камеру, объем которой рассчитан на 6–12-минутное пребывание воды, с желобчатым днищем, встроенную в горизонтальный отстойник. В основание желобов днища уложены перфорированные распределительные трубы на расстоянии 20–30 см, над которыми перпендикулярно им располагают в виде решетки перфорированные или пористые водораспределительные трубы с шагом 1–1,5 м. Диаметр отверстий 1,5–2,5 мм, шаг 72–150 мм. Оптимальная высота слоя воды над барботажной системой составляет 2–4 м. Для аэрофлокуляторов оптимальное значение градиента скорости находится в пределах 25–45 $с^{-1}$, а коэффициент объемного использования возрастает в 1,5–2,5 раза по сравнению с таковым для камер гидравлического типа. При применении аэрофлокуляторов для обработки мутных вод производительность горизонтальных отстойников повышается в 1,5–2 раза.

5.6. Отстаивание воды

Осаждение взвешенных частиц происходит под действием силы тяжести. Современные конструкции отстойников являются проточными, т. е. осаждение взвеси в них происходит при непрерывном движении воды от входа к выходу. Поэтому скорости движения жидкости в отстойниках малы: это десятые доли мм/с в вертикальных отстойниках и несколько мм/с в горизонтальных, радиальных и тонкослойных отстойниках. При таких малых скоростях поток полностью теряет свою транспортирующую способность, обусловленную интенсивным турбулентным перемешиванием. Осаждение взвеси в потоке, движущемся с очень малой скоростью (почти лишенном транспортирующей способности), подчиняется,

по В.Т. Турчиновичу, с известным приближением законам осаждения в неподвижном объеме жидкости. Эти законы хорошо изучены для осаждения агрегативно устойчивой взвеси, частицы которой не слипаются, не изменяют форм и объемов. Это явление имеет практическое значение для отстойников, применяемых в технологии очистки воды. Осаждение неустойчивой (скоагулированной) взвеси, способной агломерироваться и слипаться в процессе осаждения, изучено в меньшей степени.

На характер осаждения взвеси влияют размер и форма ее частиц, режим движения осветляемой воды и ее вязкость, изменяющаяся с температурой.

Мутные воды — это всегда полидисперсная система. При коагуляции приходится иметь дело с осаждением агрегативно неустойчивой взвеси, частицы которой в процессе осаждения меняют свою структуру и размеры. Все это осложняет математическое выражение законов осаждения и получения точных методов расчета отстойников.

Скорость осаждения частиц малого размера при малых скоростях (при значении числа Рейнольдса Re << 1) может быть определена по формуле

$$u = \frac{(\rho - \rho_0)}{18\eta} dg^2, \qquad (5.1)$$

где ρ_0 и ρ — плотность жидкости и частицы соответственно; d — диаметр частицы, определенный как диаметр равновеликого по объему шара; η — вязкость жидкости; g — ускорение свободного падения.

Скорость выпадения частиц u при $t = 10$ °С называется гидравлической крупностью частицы. Формулу (5.1) называют формулой Стокса. Она применима в области действия линейного закона сопротивления. Это выражение может быть использовано практически для монодисперсной взвеси. Если взвесь полидисперсная, то ее характеристики получают эмпирическим путем в лаборатории. Определяется скорость выпадения взвеси u, соответствующая проценту ее осаждения:

$$P = \frac{M_{\text{исх}} - M_i}{M_{\text{исх}}} 100\%,$$

где $M_{\text{исх}}$ и M_i — мутность до и после отстаивания соответственно. Для этой цели удобно строить кривые

$$P = f(u) = f\left(\frac{h}{t}\right),$$

где h — высота слоя воды; t — время отстаивания.

При различном времени отстаивания определяются $u_1 = h/t_1$; $u_2 = h/t_2$ и т. д. и соответствующие им P_1, P_2 и т. д. По найденным значениям строится кривая осаждения взвеси (рис. 5.13).

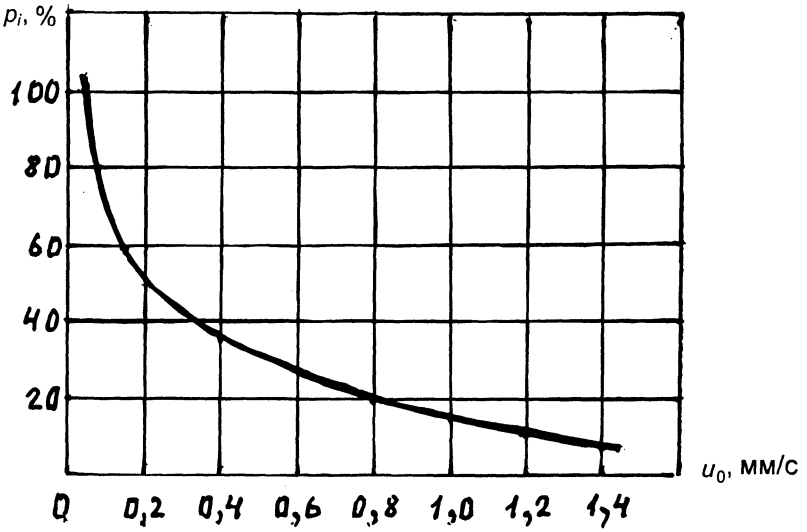


Рис. 5.13. График зависимости количества выпавших в осадок взвешенных веществ от гидравлической крупности взвеси

Для частиц данной гидравлической крупности скорость выпадения взвеси постоянна: $u = h_1/t_1 = h_2/t_2 = ... = h_n/t_n = \text{const}$. Тогда время осаждения взвеси пропорционально высоте слоя воды: $t_2/t_1 = h_2/h_1$.

При осаждении агрегативно неустойчивой взвеси также строится кривая осаждения взвеси, но получается фиктивная величина скорости выпадения взвеси. Для коагулированной взвеси справедливо соотношение

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^n,$$

где $n = 0{,}2—0{,}5$ — эмпирическая величина.

Методика моделирования процесса осаждения основана на подобии кривых выпадения взвеси для различных высот столба исследуемой воды.

Задачей лабораторных исследований является построение кривой осаждения взвеси с целью определения расчетной гидравлической крупности и времени пребывания воды в отстойнике для заданного эффекта осаждения $P_{расч}$.

Отстаивание воды производят в специальных сооружениях-отстойниках, которые в зависимости от направления движения воды классифицируют на три основных типа: вертикальные (см. рис. 5.9), горизонтальные (см. рис. 5.10) и радиальные (рис. 5.14).

Горизонтальный отстойник — прямоугольный, вытянутый в направлении движения воды резервуар, в котором осветляемая вода вдоль отстойника движется в направлении, близком к горизонтальному.

Для равномерности распределения воды в поперечном сечении отстойника его объем делят в продольном направлении перегородками на самостоятельно действующие секции шириной 3–6 м. При числе отстойников менее шести следует предусматривать один резервный. Дно отстойника должно иметь продольный уклон не менее 0,005 в направлении, обратном движению воды, а в поперечном направлении оно может быть плоским или призматическим с углом наклона граней 45 град. Для удаления осадка без отключения отстойника из работы, по предложению И.М. Миркиса, предусматривают гидравлические системы в виде перфорированных коробов или труб, которые обеспечивают его удаление в течение 20–30 мин. При открытой задвижке на сбросе осадок под действием гидростатического давления поступает в систему и в виде пульпы удаляется из отстойника.

Децентрализованный сбор осветленной воды, способствующий увеличению коэффициента объемного использования отстойника, осуществляют системой горизонтально расположенных желобов с затопленными отверстиями или треугольными водосливами либо перфорированными трубами, расположенными на участке $^2/_3$ длины отстойника, считая от задней торцовой стенки. Расстояние в осях между водосборными трубами или желобами назначают до 3 м. При установке в отстойнике тонкослойных модулей подобную систему сбора воды устраивают на всю его длину.

Горизонтальные отстойники в отечественной практике рекомендуется применять при мутности до 1500 мг/л, цветности до 120 град обрабатываемой воды и при пропускной способности водоочистного комплекса свыше 30 тыс. м^3/сут.

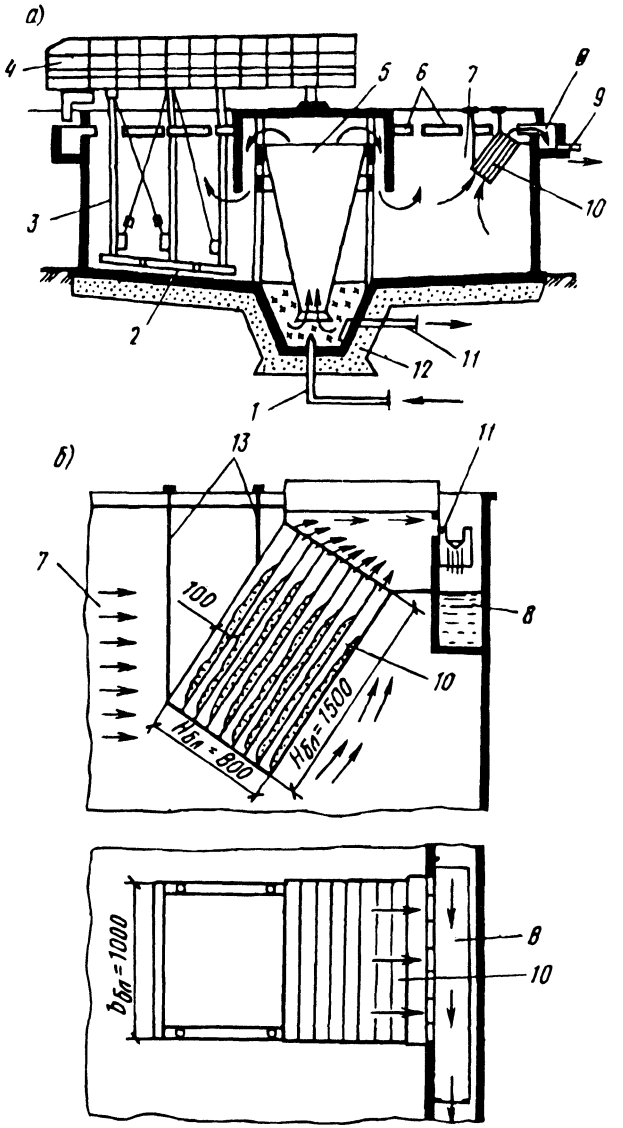


Рис. 5.14. Радиальный отстойник с рециркуляцией осадка (*а*) и тонкослойными модулями (*б*):

1, *9* — подача исходной и отвод осветленной воды; *2* — скребки; *3* — вращающаяся ферма; *4* — служебный мостик; *5* — рециркулятор осадка; *6* — водоотводные окна; *7* — зона осветления воды; *8* — кольцевой водосборный лоток; *10* — тонкослойные блоки; *11* — удаление осадка; *12* — осадкосборник; *13* — крепление блоков

Вертикальный отстойник — круглый в плане и в очень редких случаях квадратный резервуар значительной глубины, в котором обрабатываемая вода движется снизу вверх. Вертикальный отстойник имеет встроенную камеру хлопьеобразования водоворотного или вихревого типа в центральной трубе и конусное днище для накопления и уплотнения осадка. Угол между наклонными стенками, образующими днище, следует принимать 70–80 град. Сбор осветленной воды предусматривается периферийным и радиальными желобами с затопленными отверстиями или с треугольными водосливами. Осветление воды происходит при восходящем ее движение со скоростью 0,4–0,6 мм/с. Осадок из вертикальных отстойников выпускают под гидростатическим напором воды без выключения сооружения из работы. Вертикальные отстойники применяют при условии предварительного коагулирования воды, в основном при расходах до 5000 $м^3$/сут.

Радиальный отстойник — это круглый в плане железобетонный резервуар, высота которого невелика по сравнению с его диаметром. Осветляемая вода подводится снизу в центр и изливается через воронку, обращенную широким концом кверху. Вокруг воронки располагается цилиндр-успокоитель радиусом 1,5–2,5 м с глухим дном и с дырчатой стенкой. Наличие такого цилиндра способствует равномерному распределению воды по рабочей высоте отстойника. Вода медленно движется от центра к периферии и сливается в периферийный желоб с затопленными отверстиями или треугольными водосливами.

Скорость движения воды в желобе принимают 0,5–0,6 м/с. Для удаления осадка используют медленно вращающуюся металлическую ферму с укрепленными на ней скребками, сгребающими осадок к центру отстойника, откуда он выпускается или откачивается.

Радиальные отстойники рекомендуется применять в системах оборотного водоснабжения и для осветления высокомутных вод на первой ступени.

Среди методов интенсификации процесса осаждения примесей воды одним из наиболее перспективных является отстаивание в тонком слое воды, образуемом наклонными элементами, обеспечивающими быстрое выпадение взвеси и ее сползание по наклонной поверхности элементов в зону хлопьеобразования и осадкоуплотнения (рис. 5.15). Режим течения в отстойнике

должен быть ламинарным. Производительность — не ограничивается.

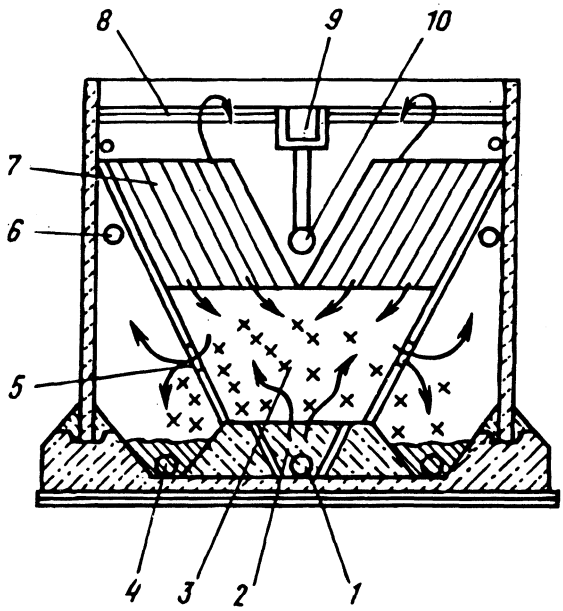


Рис. 5.15. Тонкослойные отстойники конструкции Союзводоканалпроекта:

1, 10 — подача исходной и отвод осветленной воды; *2* — гравийная камера хлопьеобразования; *3* — слой взвешенного осадка; *4* — отвод осадка из осадкоуплотнителя; *5* — окна для отвода избытка осадка в осадкоуплотнитель *6* — отвод осветленной воды из осадкоуплотнителя; *7* — тонкослойные модули; *8* — поперечные перфорированные водосборные желоба; *9* — водосборный канал

Отдельные тонкослойные ячеистые элементы, объединяемые в сотоблоки, выполняются из мягких или полужестких полимерных пленок, соединенных в соответствующую конструкцию, или из жестких листовых материалов в виде отдельных полок. Высоту поперечного сечения тонкослойного ячеистого элемента рекомендуется принимать в пределах 0,03–0,05 м. Ячейки могут быть приняты любой формы, исключающей накопление в них осадка. Угол наклона элементов необходимо принимать в пределах 50–60 град. Длину тонкослойных элементов следует определять специальным расчетом в пределах 0,9–1,5 м.

5.7. Осветление воды в слое взвешенного осадка

Метод обработки воды в слое ранее образованного взвешенного осадка широко используют в технологии ее осветления, обесцвечивания, умягчения, дефторирования, обезжелезивания и обескремнивания. Осветлители со слоем взвешенного осадка применяют на первой ступени водоподготовки вместо отстойников и камер хлопьеобразования. Они могут успешно работать только при условии предварительной обработки примесей воды коагулянтом или флокулянтом. Эти сооружения обеспечивают более высокий эффект осветления воды (до 5—10 мг/л) и имеют бóльшую производительность, чем отстойники. Однако конструктивно и в эксплуатации они более сложны.

Схема работы осветлителей со слоем взвешенного осадка показана на примере коридорного осветлителя на рис. 5.16. Обрабатываемая вода, смешанная с реагентами, вводится в осветлитель снизу и равномерно распределяется по площади рабочих коридоров. Далее вода движется снизу вверх и проходит через слой ранее образованного взвешенного осадка, состоящего из массы взвешенных в восходящем потоке хлопьев, которые непрерывно хаотично движутся, но весь слой в целом неподвижен. Он находится в состоянии динамического равновесия, обусловленного равенством скорости восходящего потока воды и средней скорости осаждения хлопьев. Необходимо отметить, что средняя скорость осаждения хлопьев во взвешенном слое отлична от их гидравлической крупности. Это объясняется так называемым стесненным осаждением частиц, на котором основана работа осветлителей. Проходя через слой взвешенного осадка, обрабатываемая вода осветляется и обесцвечивается в результате контактной коагуляции.

При движении воды через взвешенный слой извлекаемые из нее примеси остаются в нем, при этом объем слоя должен непрерывно увеличиваться, но этого не происходит, так как избыточный осадок из взвешенного слоя непрерывно удаляется в осадкоуплотнитель, откуда сбрасывается в сток. Обработанная вода, прошедшая через слой взвешенного осадка, собирается с помощью сборных желобов и дырчатых труб и отводится за пределы аппарата, стабильная работа которого достигается при постоянстве расхода и температуры обрабатываемой воды, не-

допустимости попадания воздуха с водой. Спонтанные колебания расхода воды вызывают размыв взвешенного слоя и вынос хлопьев в зону осветления. Колебания температуры воды влекут за собой возникновение конвективных токов, приводящих к нарушению взвешенного слоя и замутнению осветленной воды. Для обеспечения нормальной работы осветлителя допускают в течение часа колебания расхода 15 % и температуры обрабатываемой воды 1°С.

При осаждении взвешенной массы хлопьев наблюдается стесненное осаждение. Его характерная особенность в том, что скорость осаждения, которая всегда меньше скорости свободного падения, т. е. гидравлической крупности частиц, зависит не только от их размеров и массы, но и от концентрации. Так, при объемной концентрации, равной 10 %, скорость осаждения частиц в 2 раза меньше по сравнению с их гидравлической крупностью. Взвешенный в восходящем потоке слой хлопьев находится в состоянии стесненного осаждения, поэтому частицы не выносятся с потоком в зону осветления и не декантируют.

Благодаря тому что скорость стесненного осаждения зависит от концентрации взвешенного слоя, он сохраняется в широком диапазоне изменения скоростей восходящего потока. Каждому значению восходящей скорости потока отвечает определенная в данных условиях концентрация частиц слоя. Скорость свободного осаждения частиц является верхним пределом существования взвешенного слоя. Когда скорость потока приближается к этой величине, слой размывается. Нижний предел существования слоя — минимальная скорость потока, при которой силы гидродинамического воздействия потока на частицы меньше их силы тяжести. В этом случае частицы плотной массы декантируют. Скорость восходящего потока в осветлителях лежит между этими пределами.

Осветлители со слоем взвешенного осадка классифицируют следующим образом: по наличию камер хлопьеобразования — с камерами реакции и без них; по рабочему давлению — на открытые и напорные; по способу удаления избытка осадка — с естественным отбором и с принудительным отсосом; по расположению осадкоуплотнителя — с вертикальным, поддонным или выносным. В отечественной практике применяют осветлители без камер реакции с принудительным отсосом осадка.

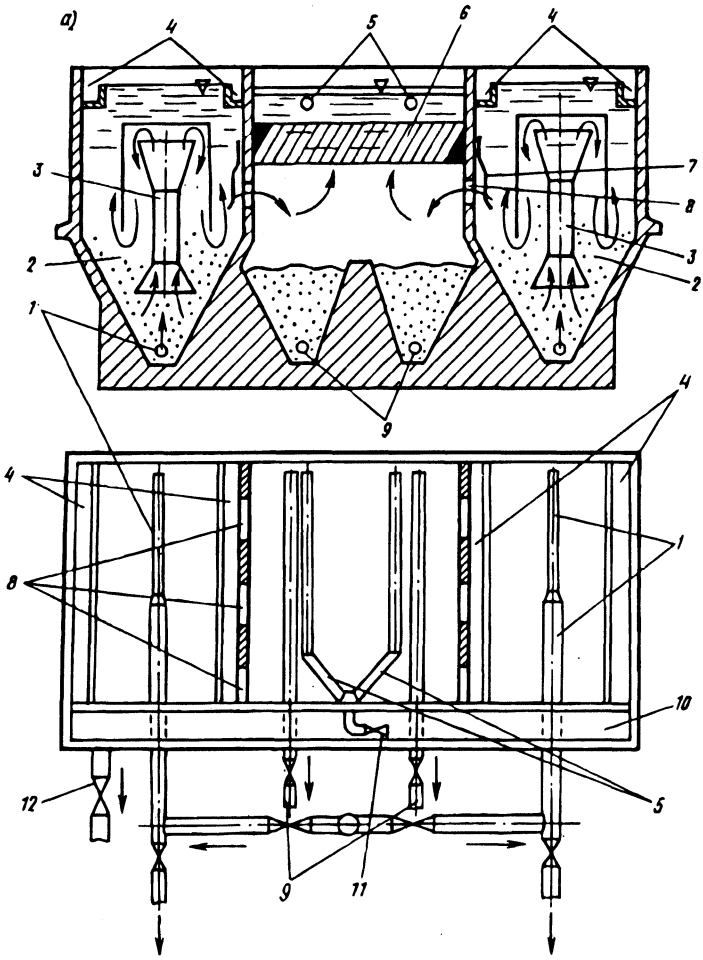
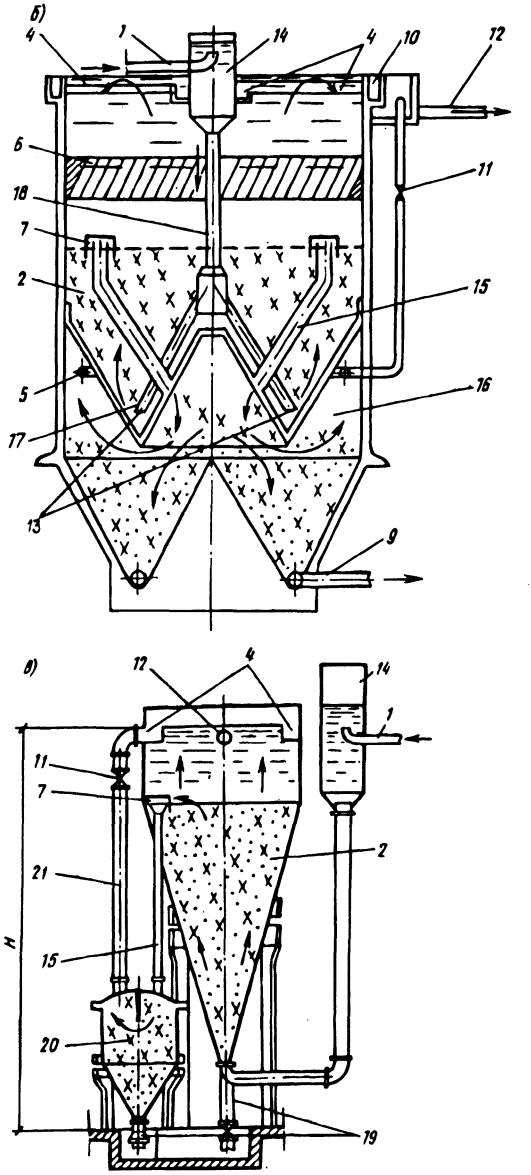


Рис. 5.16. Осветлитель коридорного типа с рециркуляцией осадка и тонкослойными модулями (*а*), с поддонным (*б*) и выносным (*в*) осадкоуплотнителями:

1, *12* — подача исходной и отвод осветленной воды; *2* — слой взвешенного осадка; *3* — рециркулятор; *4* — желоба сбора осветленной воды; *5* — перфорированные трубы отвода осветленной воды из осадкоуплотнителя; *6*, *11* — тонкослойные модули; *7* — защитные козырьки; *8* — окна отвода избытка осадка из рабочих коридоров в осадкоуплотнитель; *9* — перфорированные трубы сбора осадка из осадкоуплотнителя; *10* — боковой карман сбора осветленной воды; *13* — сопло; *14* — воздухоотделитель; *15* — осадкоотводные трубы; *16* — под-



донный осадкоуплотнитель; *17* — водораспределительные трубы; *18* — центральный подающий стояк; *19* — сброс осадка; *20* — выносной осадкоуплотнитель; *21* — трубопровод отвода осветленной воды из осадкоуплотнителя с регулирующей задвижкой

Некоторые осветлители со слоем взвешенного осадка имеют *почти плоское дно с малым углом конусности и постоянное* поперечное сечение рабочей части по ходу движения осветляемой воды. В таких осветлителях обычно устраивают второе дырчатое днище, над которым образуется слой взвешенного осадка. Требуемая высота слоя достигается принудительным отсосом осадка из рабочей части осветлителя. При осветлении маломутных вод осветлители с дырчатым дном работают устойчиво, без завала днищ осадком. При обработке мутных вод дырчатые днища не устраиваются, а нижняя часть осветлителей выполняется в виде наклонных, сходящихся книзу стенок (рис. 5.16, *а*). *При использовании коридорных осветлителей на* маломутной и цветной воде процесс хлопьеобразования протекает малоэффективно. Для его интенсификации целесообразно произвести пригрузку водораспределительных труб гравием или щебнем на высоту 70 см. В этом случае благодаря совершенствованию гидравлической характеристики сооружения и улучшению процесса формирования взвеси возможно увеличение производительности на 12–20 % и сокращение расхода коагулянта на 15–20 %.

Круглый в плане осветлитель с поддонным осадкоуплотнителем занимает меньшую площадь, чем коридорный, но имеет значительную высоту (рис. 5.16, *б*).

В системах производственного водоснабжения получили распространение осветлители с выносным осадкоуплотнителем (рис. 5.16, *в*). Они характеризуются компактностью и возможностью автоматизации их работы.

Для осветления, умягчения и обескремнивания воды хорошо зарекомендовали себя осветлители ЦНИИ-3. Их большая высота (до 9 м при диаметре до 12 м) при небольшом объеме осадкоуплотнителя выгодно отличает эти сооружения от подобных, когда необходим длительный контакт обрабатываемой воды со взвешенным осадком.

5.8. Осветление воды в гидроциклонах. Флотационная обработка природных вод

В практике водоподготовки для осветления поверхностных мутных вод, содержащих грубодисперсные примеси, находят применение *гидроциклоны* (рис. 5.17, *а*). Они просты по конструкции и в эксплуатации, дешевы в изготовлении, компактны, эффективны, обладают большой производительностью, на-

дежны. Их действие основано на использовании поля центробежных сил, где выделение механических примесей из воды происходит под действием этих сил, превосходящих в сотни и тысячи раз силы тяжести, за счет чего увеличивается скорость отделения частиц. При этом значительно сокращается продолжительность процесса осветления и уменьшается объем центробежного аппарата по сравнению с объемом отстойника. Режим движения частиц в поле центробежных сил — турбулентный.

Осветление воды в поле центробежных сил основано на переносе взвешенных частиц к периферии центробежной силой, равной разности значений центробежной силы для твердой и жидкой фаз. Эта сила P, возникающая при тангенциальном впуске воды в аппарат под некоторым давлением, равна:

$$P = \pi d^3 v^3 (\rho_т - \rho_ж)/6r,$$

где d — эквивалентный диаметр взвешенных частиц, см; $\rho_т$ и $\rho_ж$ — плотность твердой и жидкой фаз в осветляемой воде, г/см^3; v — скорость движения воды на входе в аппарат, см/с; r — расстояние от центра аппарата до оси тангенциального питающего патрубка, см.

При больших значениях v и малых r сила, действующая на взвешенную частицу во вращающемся потоке жидкости, будет во много раз больше силы тяжести и скорость движения взвешенных частиц будет значительно больше скорости их свободного осаждения. В результате в поле центробежных сил выделение взвешенных частиц из воды происходит значительно быстрее, чем в отстойниках.

Гидроциклоны могут быть напорными и открытыми. Чем меньше диаметр гидроциклона, тем больше развивающиеся в нем центробежные силы и тем меньше размер отделяемых в аппарате частиц. Максимальная эффективность разделения достигается в гидроциклоне вытянутой формы с возможно малым углом конусности (см. рис. 5.17, *а*). Обрабатываемая вода поступает в верхнюю часть гидроциклона тангенциально и, вращаясь, движется к основному патрубку, раположенному в центре по оси аппарата. Центробежной силой диспергированные примеси воды перемещаются к стенкам гидроциклона и по ним опускаются вниз, в конус, через насадку в нижней части которого они непрерывно удаляются в сток. Движение твердых частиц к стенкам аппарата происходит со скоростью, равной

разности между значением скорости, возникающей в результате действия центробежных сил, и радиальной скорости движения, направленной к центру.

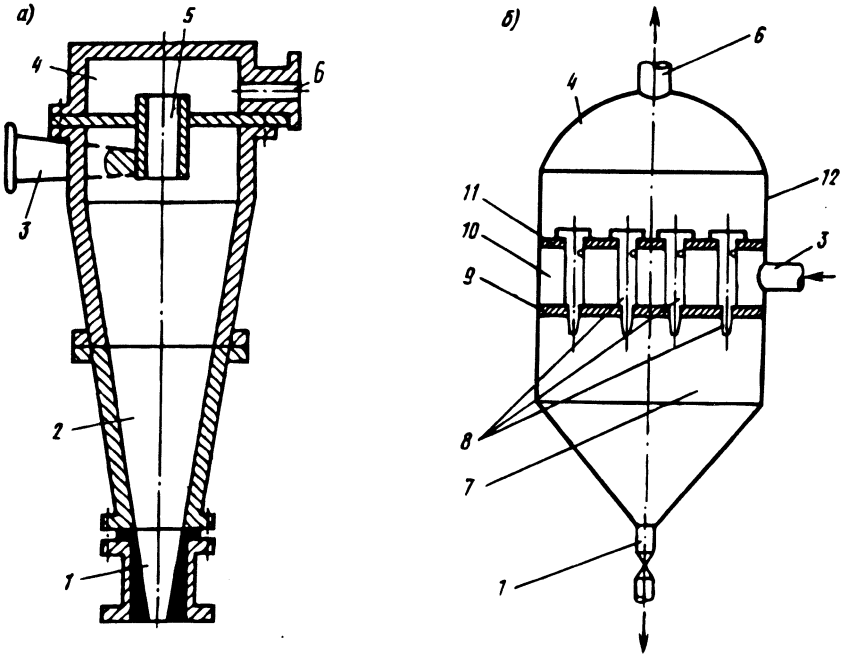


Рис. 5.17. Гидроциклон (*а*) и мультициклон (*б*):
1 — сменная насадка-сгуститель; *2* — разъемная конусная часть; *3*, *6* — входной и выходной патрубки; *4* — камера сбора осветленной воды; *5* — сливной патрубок с диафрагмой; *7* — шламовая камера; *8* — гидроциклоны диаметром 15 мм; *9*, *11* — нижняя и верхняя разделительные плиты; *10* — распределительная камера; *12* — цилиндрический корпус аппарата

Для задержания тонкодисперсных взвешенных веществ используют гидроциклоны малого диаметра, устанавливая их параллельно в большом количестве. Такой аппарат называют мультициклоном (см. рис. 5.17, *б*). Пластмассовые гидроциклоны диаметром 10, 15 и 20 мм способны задерживать взвешенные частицы гидравлической крупностью до 0,17 мм/с при потере давления около 0,1 МПа. Подача одного гидроциклона диаметром 15 мм при такой потере давления составляет около 0,07 м^3/ч.

Гидроциклоны надлежит использовать в системах хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения для пред-

варительного осветления высокомутных поверхностных вод (более 1500 мг/л). Для осветления воды следует применять гидроциклоны литые нефутерованные как наиболее дешевые и достаточно стойкие против истирания.

Недостатками гидроциклонов являются: быстрый износ, особенно при обработке вод, содержащих крупные минеральные примеси; колебания эффекта осветления в зависимости от состава и содержания взвешенных веществ в исходной воде.

Для предварительной обработки маломутных (до 150–200 мг/л) и цветных (до 200 град) вод, содержащих планктон и плавающие загрязнения (масла, нефтепродукты и т. п.), применяют *флотаторы* (рис. 5.18). Остаточная мутность после флотаторов 3–5 мг/л (до 10 мг/л).

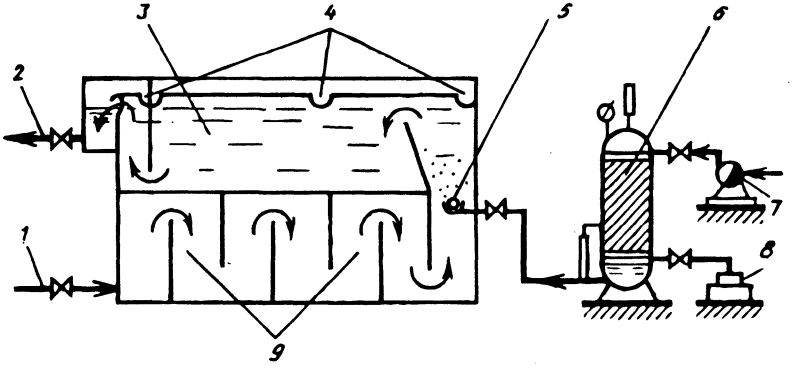


Рис. 5.18. Флотационная установка:
1, 2 — подача исходной воды с реагентами и отвод осветленной; *3* — флотационная камера; *4* — лотки сбора пены; *5* — система распределения водовоздушной смеси; *6* — напорный бак; *7, 8* — насос и компрессор; *9* — перегородчатая камера хлопьеобразования

Сущность процесса флотации состоит в специфическом проявлении молекулярных сил, способствующих слипанию взвешенных примесей воды с пузырьками высокодиспергированного в воде газа, всплыванию образующихся агрегатов и формированию на поверхности воды пенного слоя, насыщенного извлеченными веществами. Флотируемость примесей различной крупности определяется размерами пузырьков газа ($15 \cdot 10^{-6}$–$30 \cdot 10^{-6}$ м), которые зависят от поверхности натяжения на границе вода — газ. При понижении поверхностного натяжения до 0,06–0,065 Н/м и ниже эффект очистки воды флотацией повышается.

Предварительное коагулирование примесей воды повышает эффект флотации, так как понижает поверхностное натяжение. Как показала практика, оптимальная крупность флотируемых примесей находится в пределах 10^{-3}–10^{-1} см.

Улучшение процесса флотации достигают гидрофобизацией поверхности примесей коагулянтами и флокулянтами, которые, сорбируясь на поверхности удаляемых частичек, понижают их смачиваемость, что интенсифицирует прилипание примесей к пузырькам газа.

Использование коагулянтов позволяет значительно повысить эффективность флотационной очистки и удалять загрязнения, находящиеся в воде в виде стойких эмульсий и взвесей, а также в коллоидном состоянии. После флотационного разделения гидрофобный осадок отработанных гидроксидов занимает значительно меньший объем и влажность его ниже влажности осадка, полученного при декантировании.

Существует несколько видов флотации, среди которых по размерам пузырьков газа или воздуха можно выделить:

- флотацию с выделением из воды воздуха — установки вакуумные, эрлифтные и напорные;
- флотацию с механическим диспергированием воздуха — установки безнапорные (пенные), импеллерные и пневматические;
- электрофлотацию.

При обработке природных вод наиболее эффективна напорная флотация, при которой в части воды (до 10 %) в напорном резервуаре растворяется воздух, а в другую часть обрабатываемой воды вводятся реагенты. При входе во флотационную камеру оба потока смешиваются. Подготовку водовоздушной смеси осуществляют в абсорберах (или напорных резервуарах) под давлением 0,6–0,8 МПа, куда подают воду после фильтров и воздух в количестве 0,9–1,2 % расхода очищаемой воды. В зоне меньшего давления из насыщенной воздухом воды выделяются мельчайшие пузырьки, необходимые для флотации легкой взвеси. Способ напорной флотации позволяет путем регулирования давления легко изменять количество растворенного воздуха и размер пузырьков, вводимых в обрабатываемую воду, в зависимости от состава взвеси в исходной воде.

Преимущества флотаторов перед осветлителями со взвешенным осадком и отстойниками заключаются в следующем:

- эффективно удаляется фитопланктон, что позволяет отказаться от микрофильтров;

- удаляются из воды плавающие и плохо оседающие примеси;
- улучшается санитарное состояние очистных сооружений вследствие постоянного удаления выделенных загрязнений.

При напорной флотации в жидкости происходит ряд процессов: растворение и выделение воздуха, прикрепление воздушных пузырьков к частицам взвеси и всплывание их на поверхность с образованием пены. Условия протекания этих процессов существенно влияют на эффект осветления воды.

В состав флотационных установок входят флотационные камеры, камеры хлопьеобразования, узлы подготовки и распределения водовоздушной смеси, устройства для удаления и отвода пены. Наиболее часто применяются флотаторы с горизонтальным движением воды. Они могут иметь в плане квадратную или прямоугольную форму. Длина камеры назначается 3–9 м, ширина — до 6 м. Глубина слоя воды во флотаторе принимается 1,5–2,5 м. Прямоугольные флотаторы чаще всего бывают вытянуты в плане по ходу движения воды (см. рис. 5.18).

Для улучшения использования всего объема флотатора в некоторых случаях устанавливают продольные перегородки. Во входной части прямоугольной флотационной камеры струенаправляющую перегородку размещают под углом 60–70 град к горизонтали в сторону движения воды. Днище флотационной камеры имеет уклон 0,01 к трубопроводу для опорожнения.

Скорость входа обрабатываемой воды во флотатор не должна превышать скорости ее выхода из камеры хлопьеобразования, поэтому скорость движения обрабатываемой воды над струенаправляющей перегородкой назначают 0,016–0,02 м/с. Равномерное распределение водовоздушной смеси в объеме обрабатываемой воды и формирование мелких воздушных пузырьков достигаются устройством перфорированного трубопровода и размещенного под ним на расстоянии 8–10 см кожуха из материала, стойкого к кислородной коррозии. Распределительную трубку располагают на расстоянии 0,25–0,35 м от дна во входной части флотатора, в отсеке, образованном торцевой стенкой аппарата и струенаправляющей перегородкой. Скорость выхода водовоздушной смеси из отверстий распределителя принимают 20–25 м/с, диаметр отверстий 3–5 мм. Отверстия следует располагать равномерно по нижней образующей трубы линейно.

Сбор и отвод осветленной воды из флотатора должны производиться равномерно из нижней части камеры с помощью подвесной стенки, направляющей поток к отводу воды из аппарата, либо с помощью отводящей системы из перфорированных труб. Скорость движения воды под подвесной стенкой или в отверстиях водосборной системы принимают 0,8–1,2 м/с.

При строительстве новых очистных сооружений предпочтение следует отдавать флотаторам с горизонтальным движением воды, прямоугольной формы в плане, совмещенным с камерами хлопьеобразования с целью предотвращения разрушения хлопьев, сформированных в процессе коагуляции взвеси в воде.

Образующуюся во флотаторе пену влажностью не менее 94 % удаляют либо кратковременным подъемом уровня воды с отводом ее через подвесные лотки, расположенные равномерно по площади камеры, либо с помощью скребковых механизмов, перемещающих пену к сборным лоткам. Днища лотков выполняют с уклоном 0,025 в сторону отвода пены.

Флотационную камеру рассчитывают на удельную нагрузку 6–8 $м^3/ч$ на 1 $м^2$ площади. Продолжительность пребывания воды в камере до 40 мин. Высоту флотационной камеры и время флотации находят по результатам технологических исследований по формуле

$$T_м/T_к = (H_м/H_к)^n,$$

где $T_м$ и $T_к$ — время флотации в лабораторной модели и в реальной камере; $H_м$ и $H_к$ — высота слоя воды в модели и камере; n — показатель степени, принимаемый 0,45–0,65 в зависимости от качества обрабатываемой воды.

5.9. Обработка воды фильтрованием

Фильтрование — один из способов осветления воды, позволяющий выделить из нее не только диспергированные, но и коллоидные примеси, которые задерживаются на поверхности или в межпоровом пространстве фильтрующего материала. Этот процесс сопровождается значительными затратами энергии, что определяет место фильтровальных сооружений в технологической схеме. В большинстве случаев фильтрование — заключительный этап при осветлении и обесцвечивании питьевой воды.

По виду фильтрующей основы фильтры делятся на *тканевые или сетчатые* (микрофильтры, барабанные сита, акустические

фильтры и т. п.); *каркасные или намывные*; *зернистые* (песчаные, керамзитовые и т. п.). В технологиях улучшения качества воды распространены фильтры с зернистой загрузкой, которые классифицируют по следующим основным признакам:

- по скорости фильтрования: медленные (0,1–0,3 м/ч), скорые (5–12 м/ч) и сверхскорые (25–100 м/ч);
- по давлению, под которым они работают: безнапорные (открытые) и напорные;
- по направлению фильтрующего потока: однопоточные (обычные скорые и медленные фильтры), двухпоточные (фильтры АКХ и ДДФ) и многопоточные;
- по числу фильтрующих слоев: одно-, двух-, трех- и многослойные;
- по крупности зерен фильтрующего материала: мелко-, средне-, крупнозернистые.

Скорые фильтры с площадью более 30 м^2 устраивают с центральным каналом, а при меньшей площади — с боковым карманом (рис. 5.19). Коагулированная и прошедшая предочистку вода подается в боковой карман, а из него — в камеру фильтра. Высота слоя воды над поверхностью загрузки должна быть не менее 2 м. В процессе фильтрования вода проходит фильтрующий и поддерживающий слои, а затем поступает в распределительную систему, из нее — в резервуар чистой воды.

При промывке фильтров промывная вода поступает в распределительную систему и далее в фильтрующей слой, который она проходит снизу вверх, расширяя (взвешивая) его. Дойдя до верхней кромки желобов, промывная вода вместе с вымытыми из фильтрующего материала загрязнениями переливается в желоба, а из них в боковой карман и отводится в водосток.

Расчетную скорость фильтрования v (6–10 м/ч) и толщину слоя однослойной фильтрующей загрузки h (0,7–2,0 м) в соответствии с указанными ранее СНиП следует принимать в зависимости от крупности зерен загрузки.

Фильтрующий слой выполняют из отсортированного материала, чаще всего речного кварцевого песка крупностью от 0,5 до 2,0 мм. Могут быть применены и другие материалы, удовлетворяющие санитарным требованиям и обладающие достаточной химической стойкостью и механической прочностью (дробленый антрацит, керамзит, керамическая крошка, дробленый мрамор, полимеры и др.).

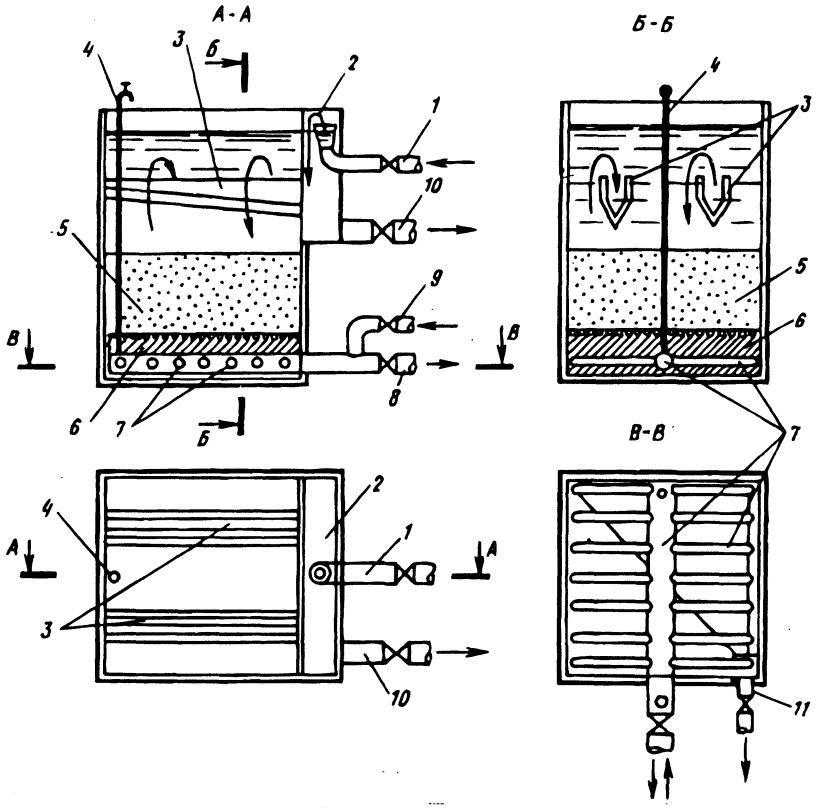


Рис. 5.19. Скорый открытый фильтр:
1, 8 — подача исходной и отвод фильтрованной воды; *2* — боковой карман; *3* — желоба; *4* — воздушник; *5, 6* — слой фильтрующей (песок, керамзит) и поддерживающей (гравий, щебень) загрузки; *7* — распределительная дренажная система; *9, 10* — подача и отвод промывной воды; *11* — опорожнение фильтра

Поддерживающий слой (0,45–0,5 м), на котором лежит фильтрующий слой, укладывают с целью, чтобы мелкий фильтрующий материал не вымывался из фильтрующего слоя и не уносился вместе с фильтруемой водой через отверстия распределительной системы. Поддерживающий слой, в свою очередь, состоит из слоев гравия или щебня разной крупности, увеличивающейся сверху вниз от 2–5 до 20–40 мм. Толщина каждого слоя также увеличивается сверху вниз. Недостатком поддерживающих слоев является возможность их смещения при промывке, что нарушает работу фильтра.

Распределительная или дренажная система является важным элементом фильтра. Она должна собирать и отводить профильтрованную воду без выноса зерен фильтрующего материала, а при промывке — равномерно распределять промывную воду по площади фильтра. Для скорых фильтров применяют распределительные системы большого сопротивления. Равномерность распределения промывной воды по площади в таких системах достигается вследствие большого сопротивления движению воды через проходные отверстия.

Наиболее распространены трубчатые распределительные системы — чугунные, полимерные или стальные трубы с отверстиями 10–12 мм, укладываемые параллельно на расстоянии 0,25–0,35 м друг от друга на нижних слоях гравия и присоединяемые к коллектору (трубе большого диаметра) или каналу, расположенному в середине днища фильтра параллельно его длинной стороне (см. рис. 5.19). Отверстия в трубах располагаются вертикально или в шахматном порядке снизу под углом 45 град к вертикали. Общая площадь отверстий должна составлять 0,25–0,3 % площади фильтра.

В последние годы разработано много новых конструкций распределительных устройств. Из них наибольшее распространение получили щелевые и колпачковые системы, системы с применением пористых керамических или бетонных плит. Большим достоинством этих конструкций является то, что они дают возможность отказаться от поддерживающих слоев, благодаря чему уменьшается высота и, следовательно, стоимость фильтра; кроме того, устраняется опасность неравномерного распределения воды из-за смещения поддерживающих слоев при промывке.

Щелевое распределительное устройство представляет собой систему труб со щелями или ложное щелевое дно. Ширина щелей должна быть на 0,1 мм меньше размера самой мелкой фракции загрузки. Для трубчатого щелевого дренажа следует применять трубы из нержавеющей стали либо полиэтилена. Щели располагаются равномерно поперек оси по периметру трубы не менее чем в 2 ряда на расстоянии не менее 20 мм друг от друга. Общая площадь щелей составляет 1,5–2 % площади фильтра.

Колпачковая распределительная система монтируется в дренажном (ложном) дне или на распределительных трубах из расчета 35–50 колпачков на 1 м^2 площади фильтра. Выпускают колпачки двух видов: щелевые пластмассовые (ВТИ-К) и фар-

форовые (ВТИ) или пористые. Скорость движения воды или водовоздушной смеси в щелях колпачков принимают не менее 1,5 м/с. Общая площадь проходных отверстий всех колпачков должна составлять 0,8–1,0 % рабочей площади фильтра.

Распределительная система *из пористых сборных керамических, полимербетонных или бетонных плит*, устраиваемая в виде промежуточного днища, не требует поддерживающего слоя. Керамические плиты выпускаются размером 40 × 40 × 5 или 25 × 50 × 5 см. Размеры пор в плитах в два с лишним раза больше размеров пустот в фильтрующем слое при среднем диаметре зерен песка 0,75 мм. Поэтому загрязнения, прошедшие через фильтрующий слой, проходят и через пористый дренаж, практически не загрязняя его. Плиты изготавливают из пористого бетона и полимербетона сборными, реже монолитными. Замену плит производят через 7–8 лет.

Интенсивность промывки скорых фильтров принимается в зависимости от требуемого относительного расширения, типа загрузки, температуры воды и составляет 12–18 л/(с · м^2). Продолжительность промывки 6–10 мин.

Поперечное сечение промывного желоба может быть с треугольным дном или полукруглым. Расстояние между желобами (по их осям) принимают в пределах 1,4–2,2 м. Дну желоба придается уклон 0,01 по ходу движения воды. Сборные желоба можно изготавливать из железобетона, металла или стеклопластика.

Вода подается на промывку специальным промывным насосом из резервуара чистой воды или из канала профильтрованной воды. Можно подавать воду и самотеком из специально установленного на требуемой высоте промывного бака или промывной башни. Объем бака должен быть рассчитан на две промывки (при промывке одного фильтра) или на три промывки (при одновременной промывке двух фильтров).

При реагентном умягчении воды или реагентном обезжелезивании наряду с обычной промывкой целесообразно применять поверхностную с целью отмывки загрязнений в верхнем слое загрузки. Ее можно производить с помощью дырчатых неподвижных или вращающихся промывных труб, через которые под напором 0,3–0,4 МПа подается вода. Скорость в подводящих трубах 2,5–3 м/с, скорость выхода воды из отверстий 8–10 м/с, интенсивность промывки 3–4 л/(с · м^2).

Теоретические основы очистки воды фильтрованием через зернистые материалы рассматривались многими исследователя-

ми. Наибольшее признание получила теория Д.М. Минца. Она экспериментально подтверждена и доведена до практического использования.

При фильтровании воды через слой зернистого материала в зависимости от заряда и соотношения размеров примесей воды и зерен фильтрующей загрузки могут наблюдаться следующие виды фильтрования: задержание примесей на поверхности фильтрующего слоя (пленочное фильтрование); задержание примесей в порах фильтрующего слоя (объемное фильтрование); одновременное образование примесями пленки и их отложение в порах загрузки.

В большинстве случаев на современных фильтрах пленка не образуется и примеси вместе с водой проникают в толщу фильтрующего слоя, при этом глубина проникновения загрязнений в толщу загрузки тем больше, чем больше скорость фильтрования, крупнее зерна фильтрующего слоя и меньше размеры частиц взвеси, извлекаемые из воды. В основе объемного фильтрования лежит предварительное коагулирование примесей воды с целью уменьшения и ликвидации их заряда. Так как при обычных значениях pH исходной воды поверхность зерен фильтрующего материала и частицы примесей воды несут отрицательный заряд, взвесь в порах фильтрующего слоя задерживается плохо.

На пленочном фильтровании основана работа медленных фильтров. Это процесс чисто механического извлечения из воды диспергированных примесей.

В технологии обработки воды наряду со скорыми фильтрами широко применяют контактные фильтры (КФ), двухпоточные двухслойные фильтры (ДДФ) и каркасно-засыпные скорые фильтры. Это фильтры большой грязеемкости. Под грязеемкостью подразумевают количество загрязнений, задержанных фильтрующей загрузкой в течение фильтроцикла (т. е. от промывки до промывки), отнесенное к единице площади фильтрования.

Контактные фильтры (рис. 5.20, *а*), работа которых основана на контактной коагуляции, применяют в прямоточных одноступенчатых схемах очистки воды при ее мутности до 60 мг/л и цветности до 150 град. Загрузка КФ-5 трехслойная, верхний слой — из керамзита (размер частиц 3–5 мм), средний — из антрацита (размер 2–3 мм), нижний — из кварцевого песка (размер 0,6–1,0 мм). Толщина каждого слоя 0,5 м. Исходная вода, смешанная с реагентами, поступает в надзагрузочное простран-

ство по специальной перфорированной трубчатой распределительной системе, расположенной на 5–10 см выше поверхности загрузки, что предотвращает образование хлопьев. Скорость фильтрования до 10 м/ч. Промывку осуществляют подачей 90 % воды в поддон и 10 % в распределительную систему.

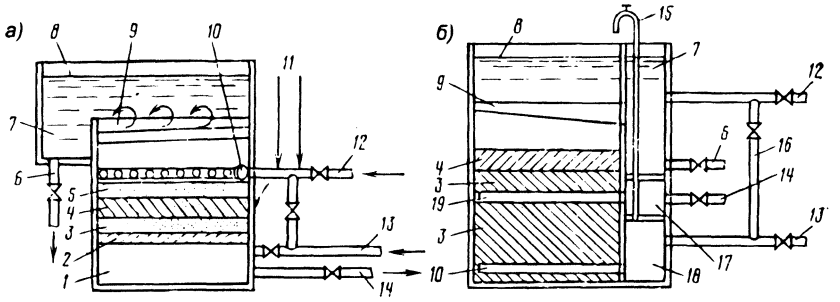


Рис. 5.20. Схема устройства фильтра КФ-5 (*а*) и ДДФ (*б*):
1 — поддон; *2* — распределительная система в виде ложного дна из пористого бетона; *3*, *4*, *5* — слои фильтрующей загрузки соответственно из кварцевого песка, дробленого антрацита и керамзитовой крошки; *6*, *13* — отвод и подача промывной воды; *7* — боковой карман; *8* — уровень воды при фильтровании; *9* — желоб; *10* — водораспределительная система из перфорированных труб; *11* — ввод реагентов; *12* — подача исходной воды; *14* — отвод фильтрата; *15* — воздушник; *16* — перепуск 70 % исходной воды на фильтрование снизу вверх; *17*, *18* — среднее и нижнее отделения бокового кармана; *19* — щелевая полиэтиленовая дренажная система

Фильтры ДДФ (см. рис. 5.20, *б*) имеют два слоя наддренажной фильтрующей загрузки. Скорость фильтрования до 25 м/ч.

В схемах технического водоснабжения распространение получили каркасно-засыпные фильтры и напорные сверхскоростные осветлительные фильтры системы Г.Н. Никифорова. *Каркасно-засыпные фильтры* (рис. 5.21) имеют загрузку в виде каркаса из гравия или щебня толщиной 2 м и засыпки из песка (керамзита, антрацита, шлака) толщиной 1 м, заполняющей часть порового пространства. Скорость фильтрования до 20 м/ч. Промывка водовоздушная. *Фильтры системы Г.Н. Никифорова* фильтруют воду со скоростью до 100 м/ч. Фильтр представляет собой цилиндрический корпус с круглой камерой внутри. Пространство между этими цилиндрами разделено вертикальными перегородками на восемь отсеков — фильтров с песчано-гравийной загрузкой. В работе находятся

семь отсеков, а один — на промывке. Продолжительность фильтроцикла в каждом отсеке не превышает одного—двух часов. Учитывая, что производительность фильтра лимитируется его размерами и при диаметре 3 м не превышает 150 м^3/ч, Г.Н. Никифоров предложил батарейный тип сверхскоростных напорных фильтров с автоматической системой промывки. Все фильтры, входящие в блок, связаны единым гидравлическим режимом.

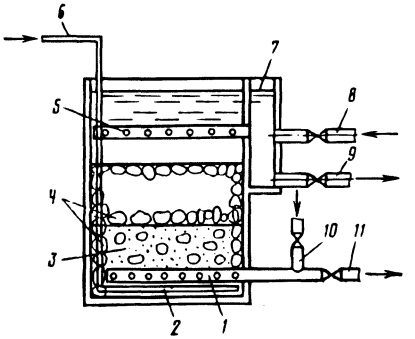


Рис. 5.21. Схема устройства каркасно-засыпного скорого фильтра: *1, 2* — водо- и воздухораспределительные системы; *3* — песчаная засыпка в межгравийном пространстве; *4* — гравийный каркас; *5* — трубчатая перфорированная система распределения исходной и сбора промывной воды; *6* — подача воздуха; *7* — боковой карман; *8, 11* — подача исходной и отвод фильтрованной воды; *9, 10* — отвод и подача промывной воды

В водоподготовке также применяются *напорные скорые фильтры* (рис. 5.22). Серийно выпускаются напорные вертикальные фильтры восьми типоразмеров (диаметром от 1 до 3,4 м). Высота фильтрующей загрузки в фильтрах всех размеров принята 1,2 м. Подача осветленной воды и отвод промывной осуществляются через центрально расположенную воронку, обращенную широким концом кверху, или кольцевой перфорированный трубопровод. Фильтр не имеет поддерживающих слоев, а фильтрующий материал располагается непосредственно на колпачковом или щелевом дренаже. Промывка загрузки предусмотрена водовоздушная, для чего фильтр снабжен специальной распределительной системой для подачи во время промывки сжатого воздуха. Эта распределительная система располагается в фильтрующей загрузке фильтра. Загрузка фильтра производится через верхний лаз. Для гидравлической выгрузки фильтрующей загрузки предусмотрен специальный разгрузочный штуцер.

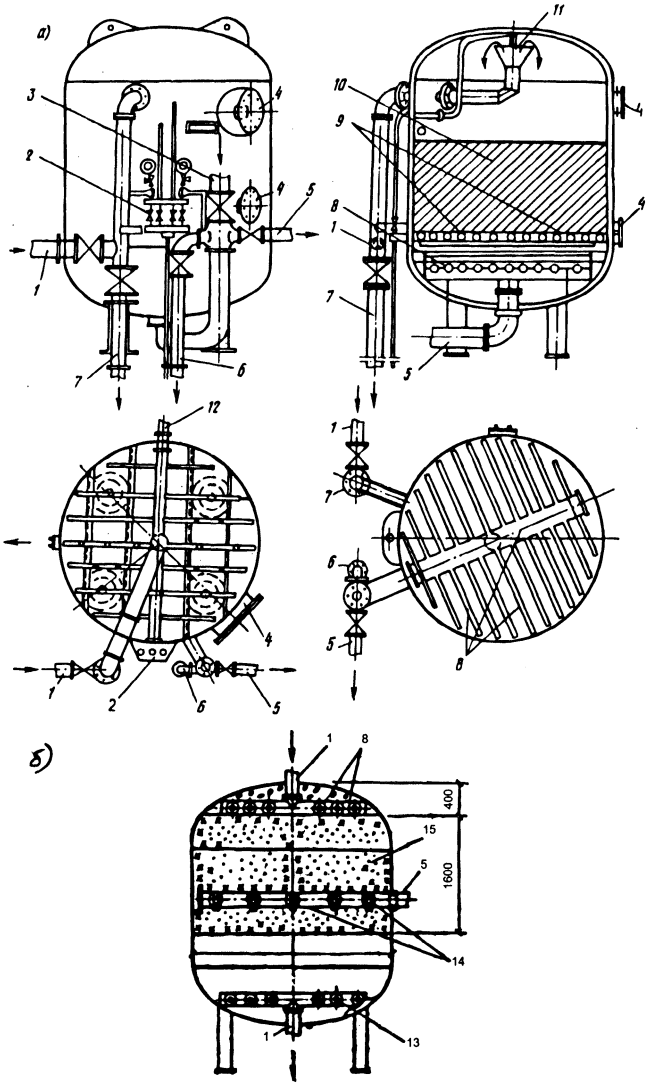


Рис. 5.22. Вертикальный напорный скорый фильтр (*а*) с керамзитом (песчаной) и (*б*) пенополистирольной загрузкой:

1, *5* — подача исходной воды и отвод фильтрата; *2* — пробоотборники; *3*, *7* — подача и отвод промывной воды; *4* — люки; *6* — сброс первого фильтрата и опорожнение; *8* — распределительная (дренажная) система; *9* — воздухораспределительная система; *10* — фильтрующая загрузка; *11* — распределительная воронка; *12* — подача воздуха; *13* — фильтрующая загрузка из вспененного полистирола; *14* — сетчатые элементы дренажа; *15* — трубчатая система сбора промывной воды

Наибольший диаметр напорного фильтра из условий удобства перевозки железнодорожным транспортом принят 3,4 м, фильтрующая площадь такого фильтра составляет 7,1 м^2. Поэтому при значительной производительности водоочистной станции приходится принимать большое число фильтров и арматуры, в связи с чем удорожается строительство и усложняется эксплуатация фильтров. Число фильтров может быть сокращено примерно в 4 раза при установке горизонтальных напорных фильтров, площадь фильтрования которых составляет 28–30 м^2, или вертикальных двух- или трехкамерных фильтров.

Использование фильтров с плавающей полимерной загрузкой (ФПЗ) (см. рис. 5.22, *б*) является одним из путей интенсификации процесса фильтрования природных вод. Как показали исследования М.Г. Журбы, наиболее перспективными являются гранулы вспененного полистирола. При замене тяжелых фильтрующих загрузок плавающими существенно изменяется технология фильтрования воды, увеличиваются допустимые по сравнению с кварцевыми фильтрами концентрация взвеси в исходной воде и скорость фильтрования, значительно упрощается отмывка загрузки, отпадает необходимость в установке промывных насосов и специальных емкостей для промывной воды. Установлено, что гранулы полистирола обладают более высокими адгезионными и электрокинетическими свойствами по сравнению с зернами песка и их применение интенсифицирует процесс фильтрования в целом.

Разновидностью фильтровальных аппаратов являются *контактные осветлители*, работающие по принципу фильтрования воды снизу вверх в направлении убывающей крупности зерен фильтрующей загрузки большой толщины (рис. 5.23).

При водообработке на контактных осветлителях (КО) коагулянт вводят в воду непосредственно перед ее поступлением в загрузку аппаратов, процесс коагуляции происходит в ее толще. За короткий промежуток времени от момента введения коагулянта до начала фильтрования в воде могут образоваться лишь микроагрегаты коагулирующих частиц. Дальнейшая агломерация примесей происходит не в свободном объеме воды, а на зернах загрузки КО; частицы адсорбируются на поверхности зерен, образуя отложения характерной для геля сетчатой структуры. Такой процесс является *контактной коагуляцией*, что обусловливается контактом воды, содержащей коагулированные примеси, с поверхностью зерен контактной массы.

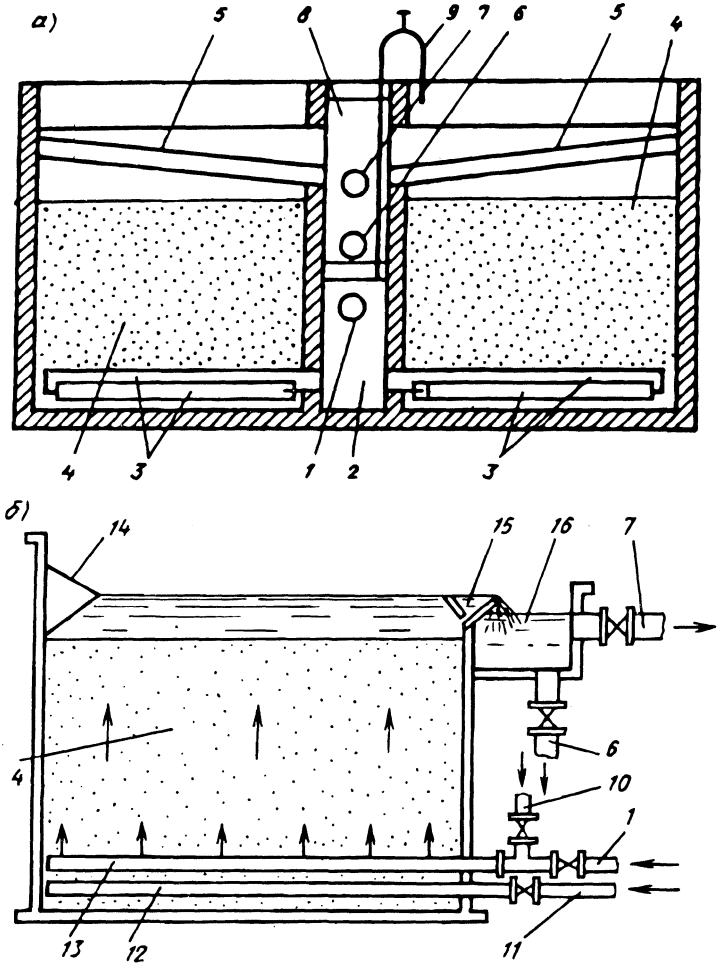


Рис. 5.23. Контактные осветлители КО-1 (*а*) и КО-3 (*б*):
1, *7* — подача исходной и промывной воды и отвод фильтрата; *2*, *8* — нижнее и верхнее отделения центрального канала; *3* — перфорированная распределительная система с защитными козырьками; *4* — фильтрующая загрузка; *5* — водосборные желоба; *6* — отвод промывной воды; *9* — воздушник; *10* — подача промывной воды; *11* — подача воздуха при промывке; *12*, *13* — воздухо- и водораспределительная системы; *14* — струенаправляющий выпуск; *15* — пескоулавливающий желоб; *16* — боковой карман

Как показали исследования и практика, процесс контактной коагуляции идет с большей полнотой и во много раз быстрее,

чем конвективной коагуляции в объеме; доза коагулянта, как правило, меньше, чем доза, необходимая для коагулирования примесей в свободном объеме. Для протекания процесса контактной коагуляции необходимо ввести в воду такую дозу коагулянта, при которой частицы примесей теряют свою агрегативную устойчивость и прилипают к поверхности зерен контактной массы. Такие дозы обычно недостаточны для того, чтобы обеспечить быстрое хлопьеобразование в свободном объеме с получением тяжелых, хорошо декантирующих хлопьев. Кроме того, при контактной коагуляции на процесс почти не влияют температура воды и ее анионный состав, наличие грубодисперсных взвесей и ее щелочность. Отпадает необходимость в перемешивании воды для обеспечения протекания ортокинетической фазы коагулирования примесей. Однако быстрота и равномерность распределения коагулянта в обрабатываемой воде имеют решающее значение.

Благодаря этому в условиях обработки маломутных цветных вод КО весьма удачно заменяют обычную двухступенчатую очистку воды, обеспечивая высокий эффект осветления и обесцвечивания при одновременном снижении стоимости строительства и эксплуатации очистных сооружений. На водоочистных комплексах с КО необходимо предусматривать барабанные сита или микрофильтры, а также вертикальный смеситель для воздухоотделения и смешения реагентов с водой. Микрофильтры и барабанные сита располагают обычно над смесителем или входной камерой.

При использовании контактных осветлителей основная масса примесей воды задерживается в нижних крупнозернистых слоях, характеризующихся большой грязеемкостью, что уменьшает темп прироста потери напора. Снижение темпа прироста потери напора и увеличение продолжительности защитного действия загрузки вследствие большой высоты слоя позволяют очищать на КО воду с содержанием взвеси, значительно превышающим обычно допустимое для скорых фильтров. Скорые фильтры могут работать нормально, если содержание взвеси в поступающей на них воде составляет 5—15 мг/л. Контактные же осветлители работают нормально при содержании взвеси в очищаемой воде до 120 мг/л и ее цветности 120 град.

Распределительная система контактного осветлителя трубчатая, большого сопротивления, с поддерживающими слоями или без них.

Контактные осветлители рекомендуется использовать без поддерживающих слоев при промывке водой и с поддерживающими слоями при водовоздушной промывке. Разработаны три модели КО. Осветлитель КО-1 (рис. 5.23, *а*) представляет собой резервуар, заполненный загрузкой из песка и гравия. Песок не должен содержать фракции крупнее 2 мм и мельче 0,7 мм. Средний диаметр песка 0,9–1 мм, $d_{экв}$ = 1–1,3 мм, толщина слоя песка около 2 м. Гравийные слои располагают под песчаной загрузкой на дне контактного осветлителя, они имеют общую толщину 0,6–0,8 м. Рекомендуемая высота и крупность песчаных и гравийных слоев приведены в СНиП 2.04.02-84*. Расчетную скорость фильтрования для КО-1 принимают 4,0–5,5 м/ч. Очищаемую воду предварительно смешивают с коагулянтом и вводят в загрузку с помощью распределительной системы из дырчатых труб, уложенных на дне в слое мелкого гравия (2–10 мм). Распределительная система служит и для подачи промывной воды. Ее промывку с интенсивностью 15–18 л/см^2 в течение 7–8 мин производят так же, как и обычных скорых фильтров. Осветленная вода, как и промывная, отводится с помощью желобов, расположенных над песком.

В безгравийных КО-1, промываемых водой, устраивают безгравийную трубчатую распределительную систему с приваренными вдоль дырчатых труб боковыми шторками, между которыми приваривают поперечные перегородки, разделяющие подтрубное пространство на ячейки. КО-3 (рис. 5.23, *б*) с поддерживающими слоями и водовоздушной промывкой имеет трубчатые распределительные системы для подачи воды и воздуха и систему горизонтального отвода промывной воды.

Работа *медленных фильтров* (*МФ*) основана на принципе пленочного фильтрования. В начале фильтроцикла на поверхности фильтрующего слоя образуется из задержанных примесей воды фильтрующая пленка, проницаемая для воды и непроницаемая для ее диспергированных загрязнений. В образовавшейся пленке интенсивно развиваются различные бактерии. Обрабатываемая вода профильтровывается через пленку, при этом из нее извлекаются взвешенные и частично коллоидные загрязнения и до 99,9 % бактерий, т. е. процесс чисто механический. Этим достигается высокая степень осветления и обеззараживания воды.

Медленный фильтр (рис. 5.24) — открытый резервуар, на дне которого находится дренаж (из дырчатых труб, кирпичей, бетонных плиток, уложенных с прозорами). Над дренажем раз-

мещен поддерживающий слой толщиной 350 мм из гравия, или гальки, или щебня крупностью 2–40 мм, а над поддерживающим слоем расположен фильтрующий слой толщиной 850 мм из хорошо промытого песка крупностью 0,3–2 мм. Слой воды над фильтрующей загрузкой составляет 1,2–1,5 м. Скорость фильтрования 0,1–0,3 м/ч.

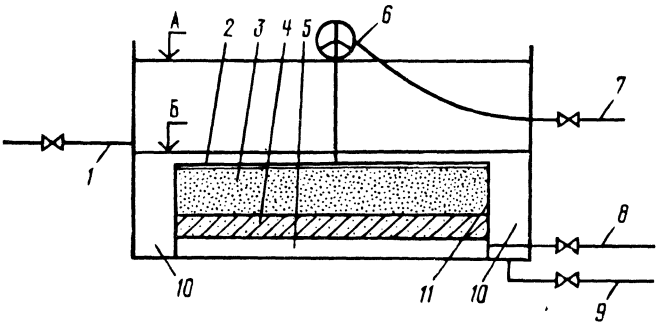


Рис. 5.24. Схема медленного фильтра:
1 — труба для подачи исходной воды; *2* — осветлительная пленка; *3* — фильтрующая загрузка; *4* — пористый бетонный дренаж; *5* — поддон; *6* — гидравлический рыхлитель; *7* — подача промывной воды к рыхлителю; *8*, *9* — отвод фильтрованной и промывной воды; *10* — боковые карманы фильтра; *11* — водонепроницаемая стена; *А* и *Б* — уровни воды соответственно при фильтровании и промывке

Пленка созревает в течение 1–2 сут. Фильтроцикл может достигать 1–2 месяцев. Регенерация фильтров осуществляется со снятием верхнего слоя песка (1–2 см) при небольшой мутности ($M \leq 50$ мг/л) или более совершенным способом с использованием гидравлического рыхления фильтрующей загрузки и смыва загрязнений в сток (при более высокой мутности $M \leq 700$ мг/л).

Недостатками МФ являются их значительная строительная стоимость и большая занимаемая площадь, что главным образом и служит причиной отказа от применения их на крупных водоочистных комплексах. Простота эксплуатации обусловливает целесообразность их использования при небольшой производительности.

5.10. Обеззараживание воды

На заключительном этапе очистки воды для хозяйственно-питьевых нужд производится ее обеззараживание, так как при

осветлении и обесцвечивании природной воды в ней еще остаются 5–10 % бактерий, среди которых могут оказаться и патогенные бактерии и вирусы. Использование подземной воды в большинстве случаев возможно без обеззараживания. В технологии водоподготовки известен ряд методов обеззараживания: *термический, химический, олигодинамия* (с помощью благородных металлов), *физический* (с помощью ультразвука, радиоактивного излучения, ультрафиолетовых лучей). Наиболее широко используется химический способ, предусматривающий применение сильных окислителей: хлора и его производных, озона, перекиси водорода, марганцевокислого калия, гипохлорита натрия и кальция. На практике предпочитают использовать хлор, хлорную известь, гипохлорит натрия, озон.

Выбор метода зависит от расхода и качества обрабатываемой воды, эффективности ее очистки, условий поставки и хранения реагентов, возможности автоматизации и механизации трудоемких работ.

Хлорирование воды является надежным санитарно-гигиеническим приемом предотвращения распространения эпидемий, так как большинство патогенных бактерий (бациллы брюшного тифа, туберкулеза и дизентерии, вибрионы холеры, вирусы полиомиелита и энцефалита и др.) весьма нестойки по отношению к хлору. Спорообразующих бактерий хлор не уничтожает, что является одним из недостатков этого метода обеззараживания.

Дозу активного хлора для обеззараживания устанавливают на основании данных технологических изысканий. При их отсутствии для предварительных расчетов дозу принимают для поверхностных вод после фильтрования 2–3 мг/л, для подземных — 0,7–1,0 мг/л.

Хлорсодержащие реагенты вводят в трубопровод фильтрованной воды, а для подземных вод, не требующих очистки, — перед резервуарами чистой воды. Концентрация остаточного свободного хлора в воде, забираемой из резервуара чистой воды, должна быть в пределах 0,3–0,5 мг/л, а связанного хлора — 0,8–1,2 мг/л при минимальной продолжительности контакта соответственно 30 и 60 мин. Для качественного хлорирования необходимо также хорошее перемешивание.

Хлорирование воды осуществляют жидким (газообразным) хлором. На водоочистных комплексах с расходом до 3000 $м^3$/сут допускается применение хлорной извести.

При плюсовых температурах и атмосферном давлении хлор представляет собой газ зеленовато-желтого цвета с удушливым запахом и плотностью, значительно большей, чем плотность воздуха. При повышении давления хлор переходит в жидкое состояние, в таком виде его перевозят и хранят в специальных стальных емкостях (при давлении 0,6–1,0 МПа). Хлор поставляется в баллонах двух типов вместимостью до 25–30 кг и 100 кг жидкого хлора. На крупные водоочистные комплексы производительностью более 100 тыс. $м^3$/сут хлор доставляют обычно в железнодорожных цистернах вместимостью до 48 т жидкого хлора, а хранят его в бочках, которые в зависимости от размеров вмещают от 700 до 3000 кг жидкого хлора. Хлорное хозяйство должно обеспечивать прием, хранение, испарение жидкого хлора, дозирование газообразного хлора с получением хлорной воды.

Хлорное хозяйство располагают в отдельном помещении, где сблокированы расходный склад хлора, испарительная и хлордозаторная. Расходный склад хлора можно размещать в отдельных зданиях или вплотную к хлораторной, отделяя его глухой стеной без проемов.

Гидролиз хлора происходит по реакции

$$Cl_2 + H_2O \leftrightarrow HCl + HOCl.$$

Хлорноватистая кислота диссоциирует с образованием гипохлоритного иона (OCl^-), при этом оксидирующее воздействие на микроорганизмы оказывают как сама хлорноватистая кислота, так и главным образом гипохлоритный ион. Степень диссоциации хлорноватистой кислоты зависит от pH:

pH	4	5	6	7	8	9	10	11
OCl–	0,05	0,5	2,5	21,0	75,0	97,0	99,5	99,9
HOCl	99,95	99,5	97,5	79,0	25,0	3,0	0,5	0,1

При использовании вместо хлора хлорной извести протекает реакция

$$2CaOCl_2 + 2H_2O \leftrightarrow CaCl_2 + Ca(OH)_2 + 2HOCl.$$

Доза вводимого хлора должна быть больше величины хлоропоглощаемости на величину остаточного хлора, присутствие которого является гарантией того, что оксидация бактерий и органических веществ в воде практически завершена.

На практике в зависимости от качества исходной воды делают предварительное хлорирование, вводя хлор перед смесителями дозой ~5 мг/л, что способствует оксидации органических

защитных коллоидов, препятствующих коагуляции, а также гуминовых веществ, обусловливающих цветность. При этом улучшается санитарное состояние очистных сооружений, снижается общий расход хлора.

Для обеспечения более длительного бактерицидного действия хлора и предотвращения появления в воде хлорфенольных запахов и привкусов применяют предварительную аммонизацию, т. е. вводят аммиак в воду раньше хлора. При этом образуются монохлорамины:

$$HClO + NH_3 \leftrightarrow NH_2Cl + H_2O,$$

которые, гидролизуясь, образуют гипохлоритный ион:

$$NH_2Cl + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OCl^-.$$

Гидролиз хлораминов протекает медленно, и длительность бактерицидного действия увеличивается, хотя окисляющая способность хлораминов ниже, чем хлора.

Аммиак хранят на расходном складе в баллонах или контейнерах. Ввод аммиака производят в фильтрат, при наличии фенолов — за 2–3 мин до ввода хлора.

Для ввода в воду хлора, аммиака и сернистого газа (при дехлорировании) применяют вакуумные газодозаторы системы ЛОНИИ-100 (рис. 5.25) и системы Л.А. Кульского. Из исходных баллонов жидкий хлор перетекает в промежуточный баллон, где происходит его испарение и отделение загрязнений. Далее газообразный хлор проходит через фильтр со стекловатой и затем через понижающий давление редуктор. Степень понижения давления фиксируется двумя манометрами, установленными до и после редукционного клапана. С помощью диафрагмы создается перепад давления, который служит импульсом для работы измерителя расхода хлора. Затем хлор поступает в смеситель, смешивается с водопроводной водой, образуя хлорную воду, которая подсасывается эжектором и таким образом дозируется в обрабатываемую воду.

С одного стандартного баллона при комнатной температуре можно получить не более 0,5–0,7 кг хлоргаза. Для увеличения съема хлора прибегают к специальному обогреву баллонов теплой водой или подогретым воздухом при температуре 10–30 °С.

Дехлорирование воды, т. е. удаление при необходимости избытка остаточного хлора, можно осуществлять при небольшом избытке — аэрированием, при большом — химическими

методами (обработка воды гипосульфитом или сульфитом натрия, аммиаком), фильтрацией через активированный или сульфоуголь.

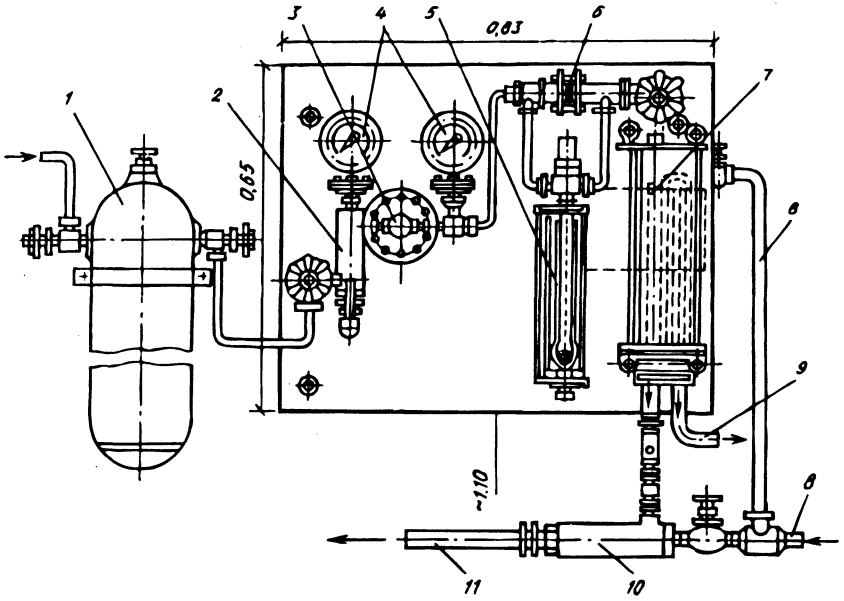


Рис. 5.25. Хлоратор ЛОНИИ-100:
1 — промежуточный баллон с хлором; *2* — фильтр со стекловатой; *3* — редукционный клапан для снижения давления хлоргаза; *4* — манометры; *5* — ротаметр; *6* — измерительная диафрагма; *7* — смеситель; *8* — подача водопроводной воды; *9* — слив в канализацию; *10* — эжектор, создающий разряжение в хлораторе; *11* — отвод хлорной воды

При хлорировании воды в результате взаимодействия хлора с органическими веществами образуются канцерогенные летучие хлорорганические соединения (ЛХС), в основном относящиеся к группе тригалогенметанов (ТГМ). Основные концентрации ЛХС образуются при введении первичного хлора в неочищенную воду. Процесс образования ЛХС сложный и продолжительный во времени, существенное влияние на него оказывают содержание в обрабатываемой воде органических примесей, время контакта воды с хлором, доза последнего и pH воды. ЛХС не задерживаются в сооружениях традиционного типа, максимальное их количество наблюдается в резервуарах чистой воды.

Известны два направления уменьшения содержания ЛХС в питьевой воде: предотвращение их формирования при водоподготовке и извлечение на заключительных этапах обработки воды. Когда ЛХС присутствуют в исходной воде, следует применять методы их удаления, при отсутствии ЛХС в исходной воде — методы, предотвращающие их образование в процессе водоподготовки.

В первом случае применяются аэрация и сорбция на активных углях. Во втором случае стараются предотвратить загрязнение водоисточников и возможное образование ЛХС и хлороформа в процессе водообработки.

Воду можно обеззараживать и с помощью гипохлорита натрия, получаемого электролитическим способом (в электролизерах) на месте применения путем разложения раствора поваренной соли постоянным электрическим током.

Озонирование воды основано на применении озона, который легко разлагается с образованием атомарного кислорода, являющегося одним из наиболее сильных окислителей. Он уничтожает бактерии, споры, вирусы, обесцвечивает и дезодорирует воду, окисляя органические загрязнения.

Озон не изменяет природные свойства воды, так как его избыток быстро разлагается, превращаясь в кислород.

Озон получают из атмосферного воздуха в аппаратах, называемых *озонаторами*. Предварительно осушенный, очищенный и охлажденный воздух поступает в озонатор, в котором происходит разряд коронного типа, в результате чего образуется озон (рис. 5.26). Доза озона принимается при введении его в фильтрованную воду с целью обеззараживания ~1—3 мг/л, а для подземной воды, не требующей очистки, ~0,75—1 мг/л.

При необходимости обесцвечивания и дезодорации воды доза озона может доходить до 4 мг/л. Время контакта воды с озоном 6—12 мин.

Обеззараживание воды можно проводить путем ее обработки *ультрафиолетовыми лучами*. Обеззараживание воды бактерицидными лучами имеет преимущества перед хлорированием, так как природные вкусовые качества и химические свойства воды не изменяются. Бактерицидное действие лучей протекает во много раз быстрее, чем хлора; после облучения воду сразу можно подавать потребителям. Бактерицидные лучи уничтожают не только вегетативные виды бактерий, но и спорообразующие. Эксплуатация установок для обеззараживания воды бактерицидными лучами проще хлорного хозяйства.

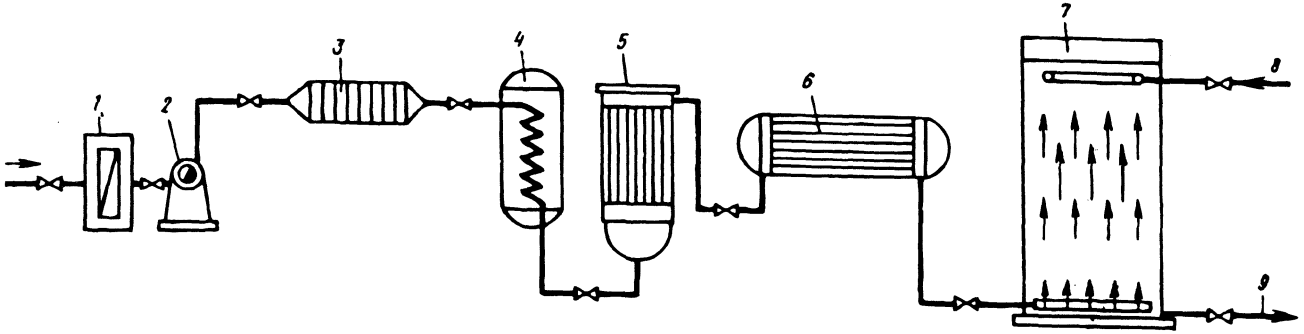


Рис. 5.26. Схема озонаторной установки:

1 — воздушный фильтр; *2* — воздуходувка; *3* — водяной теплообменник; *4* — фреоновая холодильная установка; *5* — влагопоглотительный фильтр; *6* — озонатор; *7* — контактный резервуар; *8*, *9* — подача исходной и отвод озонированной воды

Наибольшим бактерицидным эффектом обладают ультрафиолетовые лучи с длиной волны 200–295 мкм. Эту область ультрафиолетового излучения называют бактерицидной. Источниками бактерицидного излучения служат выпускаемые отечественной промышленностью аргонортутные лампы низкого давления и ртутно-кварцевые лампы высокого давления.

Многолетний опыт эксплуатации установок обеззараживания воды бактерицидными лучами показывает, что этот метод обеспечивает надежную дезинфекцию воды. Эксплуатационные расходы на обеззараживание воды облучением не превышают эксплуатационных затрат на хлорирование, а на водопроводах, использующих в качестве источников водоснабжения подземные, родниковые и подрусловые воды, обеззараживание облучением дешевле в 2–3 раза по сравнению с хлорированием. Расход электроэнергии на обеззараживание воды из подземных источников водоснабжения облучением не превышает 10–15 Вт · ч/м^3. Расход электроэнергии на облучение обработанной воды из открытых источников водоснабжения составляет до 30 Вт · ч/м^3.

Недостатком рассматриваемого метода является невозможность оперативного контроля за эффектом обеззараживания в отличие от хлорирования (по остаточному хлору).

5.11. Дезодорация воды

Одной из актуальных проблем в области водоподготовки является необходимость дезодорации питьевой воды.

Привкусы и запахи вызывают неорганические и органические вещества естественного и искусственного происхождения. К естественным относятся органические вещества биологического происхождения, возникающие в результате отмирания и разложения высших водных растений, планктона, бентоса, бактерий, грибов. При этом в воду выделяются низкомолекулярные спирты, карбоновые кислоты, кетоны, альдегиды, фенолсодержащие вещества с сильным запахом. Органические вещества способствуют развитию микроорганизмов, выделяющих H_2S, NH_3, органические сульфиды, меркаптаны (дурно пахнущие). Интенсивное обогащение воды органическими веществами происходит во время «цветения» водоемов.

Присутствующие в северных водах и в средней полосе России гуминовые и фульвокислоты, лигнины и другие органичес-

кие вещества естественного происхождения служат одним из источников образования фенолов.

При хлорировании воды с фенолами образуются диоксины (ядовитые вещества, доза которых $3{,}1 \cdot 10^{-9}$ моль/кг смертельна; доза около $\sim 10^{-17}$ моль/кг влияет на иммунную систему и репродуктивную функцию организма).

Искусственные запахи и привкусы воды возникают в связи со сбросом в водоемы промышленных сточных вод, несмотря на законодательные меры, запрещающие их сброс. Вода загрязняется минеральными и органическими соединениями: солями тяжелых металлов, нефтью и ее продуктами, фенолами, кислотами, СПАВ и др.

Поверхностный смыв с сельскохозяйственных угодий загрязняет природные воды пестицидами, гербицидами, нефтепродуктами и т. д.

Привкусы и запахи вызываются также в процессе очистки воды при хлорировании, передозировке реагентов или в результате неправильной эксплуатации очистных сооружений.

На очистных сооружениях могут задерживаться только те вещества, вызывающие запахи и привкусы, которые находятся в воде в виде взвеси и коллоидов или переходят в нерастворимую форму в процессе очистки и предварительной обработки хлором (например, эмульгированные фракции нефти, плохо растворимые пестициды, некоторые металлы).

Дезодорация в этом случае достигается коагулированием и флокулированием примесей с последующим фильтрованием.

Однако часто для устранения запахов и привкусов требуется применение специальных технологий. Характер примесей (их состояние: взвеси, коллоиды, растворенные газы, истинные растворы) диктует методы очистки, которые сводятся к следующим:

- коллоиды и взвеси удаляются коагулированием с последующим отстаиванием и фильтрованием;
- запахи и привкусы, обусловленные содержанием неорганических веществ в молекулярном и ионном состояниях, удаляются корректированием минерального состава (опреснением, обезжелезиванием, дегазацией и др.). Применяются также такие методы очистки, как окисление, адсорбция, аэрирование. В условиях интенсивного загрязнения водоемов дезодорировать воду следует, сочетая методы окисления и адсорбции, а также аэрированием, при котором удаляются летучие соединения.

Окислением хорошо удаляются вещества с сильными восстановительными свойствами: фенолы, дубильные вещества, гуминовые кислоты и др. В некоторых случаях запахи и привкусы усиливаются при окислении.

Адсорбция — более универсальный метод, но сорбенты избирательны при извлечении из воды различных веществ. Хорошо сорбируются гидрофобные вещества и слабо гидратированные. К ним относятся молекулярно-растворимые соединения и слабые электролиты (например, фенолы). Более сильные и полярные органические соединения (спирты, альдегиды, кетоны и др.) сорбируются менее эффективно. Требуется повышенный расход угля.

5.12. Дегазация воды

Дегазация воды — комплекс мероприятий, связанных с удалением из воды растворенных в ней газов. Различают физические (безреагентные), химические (реагентные) и комбинированные (биохимические, электрохимические, физико-химические) способы.

Физические способы дегазации воды — это ее аэрация, пенная дегазация, кипячение, вакуумирование.

Химические способы дегазации воды — это добавление в нее химических реагентов, вступающих в реакцию с растворенным в воде газом, в результате чего происходят связывание или окисление удаляемого газа и перевод его в менее активные соединения с последующим удалением из воды.

Комбинированные способы дегазации воды предусматривают совместное использование физических и химических методов, иногда с привлечением некоторых дополнительных факторов (микроорганизмов, электрического тока и др.)

Физическими методами обычно удаляются CO_2, H_2S, а O_2 удаляют химическим путем.

Аэрирование воды производится в специальных установках вакуумно-эжекционного, пенного, пленочного типов, а также используются брызгальные бассейны, аэраторы каскадного типа.

Одним из наиболее совершенных аэраторов является *дегазатор пленочного типа* (рис. 5.27), загруженный керамическими или пластмассовыми кольцами для увеличения поверхности контакта аэрируемой воды и воздуха. Обрабатываемая вода стекает тонкой пленкой сверху вниз, а снизу под контактную мас-

су вентилятором нагнетается воздух. Нагрузка по воде варьируется в зависимости от поставленной задачи.

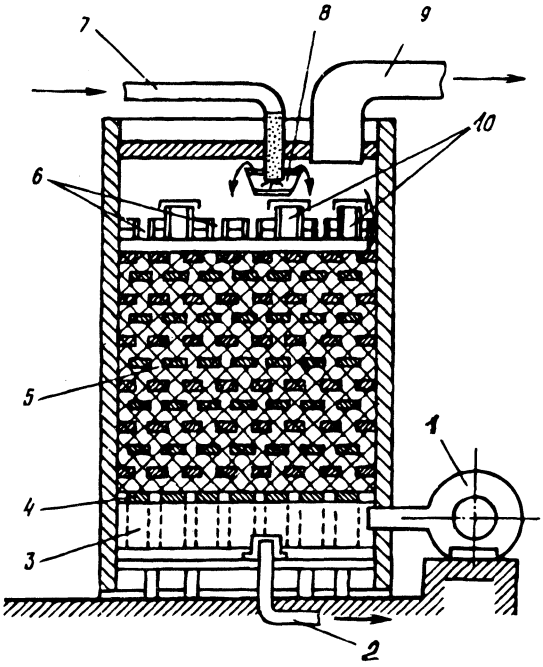


Рис. 5.27. Аэрационный аппарат пленочного типа:
1 — вентилятор; *2* — отвод дегазированной воды; *3* — поддон; *4* — дренажная плита; *5* — насадка из кольца Рашига или пластмассовых колец; *6* — оросительные патрубки; *7* — подача исходной воды; *8* — распределительная чаша; *9* — отвод выделившихся газов; *10* — патрубки отвода газовой смеси

Площадь поперечного сечения дегазатора, загруженного кольцами Рашига, принимается исходя из удельного расхода воды 60 $м^3/(м^2 \cdot ч)$. Удельный расход воздуха составляет 15 $м^3/(м^2 \cdot ч)$.

H_2S, O_2 и CO_2 удаляются также химическими методами при введении реагентов или фильтрованием через специальные загрузки.

O_2 может удаляться фильтрованием через легко окисляющиеся вещества (стальные стружки), или при взаимодействии с сульфитом натрия Na_2SO_3, или оксидом серы SO_2, или, в редких случаях, при применении гидразина N_2H_4.

Для удаления сероводорода из воды химическими методами его окисляют кислородом воздуха, или хлором Cl_2, или двуокисью

хлора Cl_2O, или перманганатом калия $KMnO_4$, или озоном O_3. Также можно использовать взаимодействие H_2S с гидроокисью железа (III) $Fe(OH)_3$. Сероводород может окисляться серобактериями до серы.

Углекислый газ CO_2 химическим путем связывается известью в практически нерастворимый карбонат кальция $CaCO_3$.

Тот или иной способ и технологию дегазации воды выбирают на основании технико-экономических расчетов и с учетом местных конкретных условий объекта водоснабжения.

5.13. Обезжелезивание воды

Железо в природных водах может содержаться в виде двухвалентного железа, неорганических и органических коллоидов, а также в форме комплексных соединений двух- и трехвалентного железа или тонкодисперсной взвеси гидрата окиси железа.

Обезжелезивание воды для хозяйственно-питьевых целей производится при содержании в ней железа более 0,3 мг/л. Многообразие форм и концентраций железа, встречающихся в природных водах, вызвало необходимость разработки ряда методов, технологических схем и сооружений обезжелезивания воды. Все методы обезжелезивания можно свести к двум основным типам: безреагентные и реагентные.

Обезжелезивание поверхностных вод можно осуществить лишь реагентными методами, а для удаления железа из подземных вод наибольшее распространение получили безреагентные методы.

Из используемых безреагентных методов обезжелезивания воды перспективными являются: вакуумно-эжекционная аэрация и фильтрование (рис. 5.28, *а*); упрощенная аэрация и фильтрование (рис. 5.28, *б*); «сухая» фильтрация (рис. 5.28, *г*); фильтрование на каркасных фильтрах; фильтрование в подземных условиях с предварительной подачей в пласт оксидированной воды или воздуха (рис. 5.28, *е*); аэрация и двухступенчатое фильтрование (рис. 5.28, *в*).

К реагентным относят следующие методы: упрощенная аэрация, оксидация, фильтрование; напорная флотация с известкованием и последующим фильтрованием; известкование, отстаивание в тонкослойном отстойнике и фильтрование (рис. 5.28, *д*); фильтрование через модифицированную загрузку; электрокоагуляция; катионирование.

Безреагентные методы обезжелезивания могут быть применены, когда исходная вода характеризуется: pH — не менее

6,6; щелочность — не менее 1,5 мг-экв/л; содержание углекислоты — до 80 мг/л и сероводорода — до 2 мг/л; перманганатная окисляемость — не более 9,5 мг O_2/л. При соблюдении этих условий при содержании железа (III) не более 10 % общего и концентрации железа (II) в бикарбонатной или карбонатной форме до 3 мг/л рекомендуется метод фильтрования на каркасных фильтрах без вспомогательных фильтрующих средств; до 5 мг/л — предпочтительно применять метод «сухой» фильтрации; от 5 до 10 мг/л — следует использовать метод упрощенной аэрации с одноступенчатым фильтрованием; от 10 до 20 мг/л — аэрация и двухступенчатое фильтрование; от 10 до 30 мг/л — рекомендуется вакуумно-эжекционная аэрация с фильтрованием через загрузку большой грязеемкости. При содержании углекислого или карбонатного железа (II) более 20 мг/л или при наличии сероводорода 1–5 мг/л и pH не ниже 6,4 рекомендуется метод вакуумно-эжекционной аэрации с последующим отстаиванием в тонком слое воды или обработкой в слое взвешенного осадка и фильтрование.

Реагентные методы обезжелезивания воды применяют при низких значениях pH, высокой окисляемости, нестабильности воды. При этом при содержании сернокислого или карбонатного железа либо комплексных железоорганических соединений до 10 мг/л и перманганатной окисляемости до 15 мг O_2/л рекомендуется применять фильтрование через модифицированную загрузку; до 15 мг/л и перманганатной окисляемости до 15 мг O_2/л предпочтителен метод, предусматривающий упрощенную аэрацию, обработку сильным окислителем и фильтрование через зернистую загрузку большой грязеемкости; свыше 10 мг/л и перманганатной окисляемости более 15 мг O_2/л следует применять напорную флотацию с предварительным известкованием и последующим фильтрованием или метод, предусматривающий аэрацию, известкование, отстаивание в тонком слое и фильтрование; свыше 10 мг/л, перманганатной окисляемости более 15 мг O_2/л при производительности установок до 200 $м^3$/сут можно рекомендовать электрокоагуляцию с барботированием, отстаиванием в тонком слое и фильтрование. Обезжелезивание воды катионированием целесообразно лишь в тех случаях, когда одновременно с обезжелезиванием требуется умягчение воды, при этом ионным обменом могут быть извлечены только ионы железа (II). Рассмотрим некоторые из этих методов.

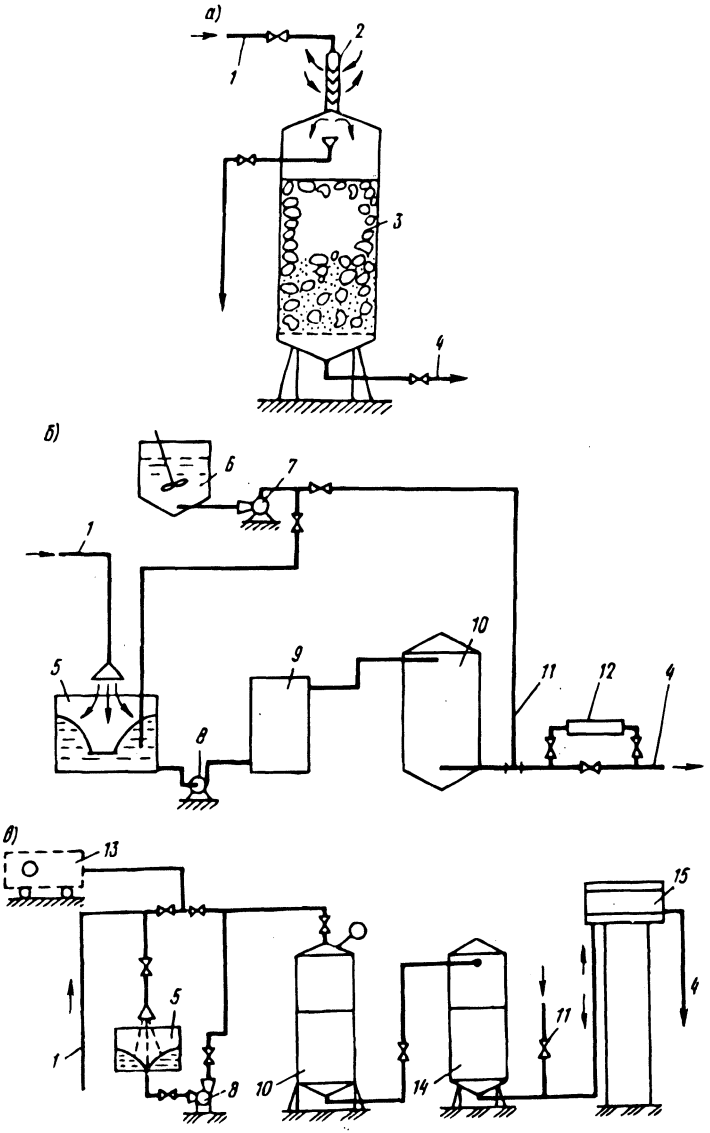
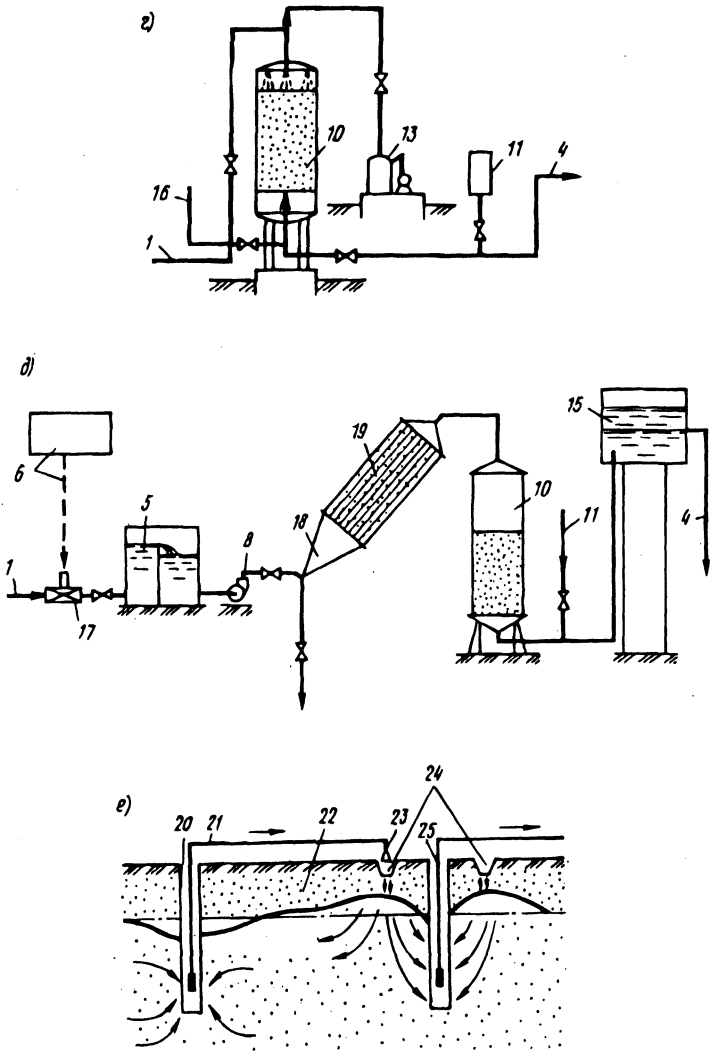


Рис. 5.28. Схемы установок обезжелезивания природных вод методами: *а* — вакуумно-эжекционная аэрация и фильтрование; *б* — упрощенная аэрация (установка «Деферрит»); *в* — упрощенная аэрация с двухступенчатым фильтрованием; *г* — сухая фильтрация; *д* — известкование (установка «Струя»); *е* — обезжелезивание в пласте; *1*, *4* — подача исходной и отвод обработанной воды; *2* — вакуумно-эжекционный



аппарат; *3* — скорый каркасно-засыпной фильтр; *5* — бак-аэратор; *6* — реагентное хозяйство; *7* — насос-дозатор; *8* — насос; *9* — ресивер; *10* — скорый фильтр; *11* — ввод хлора (вариант); *12* — бактерицидная установка; *13* — компрессор; *14* — скорый фильтр II ступени; *15* — водонапорная башня; *16* — сброс воздуха; *17* — трубчатый смеситель; *18* — камера хлопьеобразования; *19* — тонкослойный отстойник; *20* — вспомогательный колодец; *21* — подача воды на аэрацию; *22* — зона аэрации; *23* — аэрационное устройство; *24* — кольцевой инфильтрационный бассейн; *25* — эксплуатационный колодец

Метод упрощенной аэрации (рис. 5.28, *б*, *в*) применим как в гравитационном, так и в напорном варианте. При этом окислительно-восстановительный потенциал воды после аэрации должен быть не менее 100 мВ и индекс стабильности воды — не менее 0,05.

Метод упрощенной аэрации основан на способности воды, содержащей железо (II) и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен, образуя каталитическую пленку из ионов и оксидов железа (II) и (III). Эта пленка интенсифицирует процесс оксидации и выделения железа из воды.

Обезжелезивание воды в загрузке, покрытой пленкой, является гетерогенным автокаталитическим процессом, в результате чего обеспечивается непрерывное обновление пленки как катализатора непосредственно при работе фильтра. Метод не требует оксидации всего железа (II) в трехвалентное и перевод его в гидроксид. Упрощенная аэрация осуществляется с помощью несложных приспособлений путем излива воды с небольшой высоты в карман или центральный канал фильтра либо путем вдувания воздуха в обрабатываемую воду. Для определения высоты слоя фильтрующей загрузки L при обезжелезивании подземных бикарбонатных и карбонатных вод по методу упрощенной аэрации рекомендуется эмпирическая формула Г.Н. Николадзе

$$L = vd_э \cdot \ln A/\{K \cdot \alpha(1 - n)t^{0,74}(3pH - 18,8)[O_2]\},$$

где v — скорость фильтрования, м/ч; $d_э$ — эквивалентный диаметр фильтрующей загрузки, мм; $A = C_н/C_ф$ (здесь $C_н$ и $C_ф$ — содержание железа (II) соответственно в исходной воде и фильтрате, мг/л); K — константа оксидации железа (II), определяемая эмпирическим путем; α и n — соответственно коэффициент формы зерен и пористость фильтрующей загрузки; t — температура исходной воды, °С; $[O_2]$ — содержание в воде растворенного кислорода, мг/л.

Сущность метода «сухой» фильтрации (рис. 5.28, *г*) заключается в фильтровании воздушно-водяной эмульсии (3–5 объемов воздуха на 1 объем воды) через «сухую» (незатопленную) зернистую загрузку путем образования в ней вакуума или нагнетания больших количеств воздуха с последующим отсосом из поддонного пространства. В обоих случаях в поровых каналах фильтрующей загрузки образуется турбулентный режим движения смеси, характеризующийся завихрениями и противотоками, что

способствует молекулярному контакту воды с поверхностью зерен контактной массы. При этом на зернах фильтрующей загрузки формируется адсорбционно-каталитическая пленка из соединений железа (марганца, если он присутствует в воде), повышающая эффективность процессов обезжелезивания и деманганации.

Характерной особенностью процесса является образование дегидратированной пленки на зернах загрузки, состоящей, как показали рентгенографические определения, из магнетита, сидерита, гетита и гематита. Указанные соединения имеют плотную структуру, а их объем в 4–5 раз меньше, чем гидроксида железа. Поэтому темп прироста потерь напора в фильтрующей загрузке при напорном фильтровании по методу «сухой» фильтрации чрезвычайно мал, а продолжительность фильтроцикла велика (от нескольких месяцев до года и более). Отличительными особенностями процесса являются: повышение pH и некоторое снижение жесткости фильтрата, высокая грязеемкость загрузки и отсутствие промывочных вод (загрузка заменяется на новую или возможно провести ее отмывку 5–10 %-ным раствором ингибированной соляной кислоты). Образование на поверхности загрузки активной адсорбционной пленки, т. е. период «зарядки», составляет 0,3–2 ч.

Деферризацию методом фильтрования на каркасных фильтрах следует применять для обезжелезивания воды на установках производительностью до 1000 $м^3$/сут. Сущность обезжелезивания воды по рассматриваемому методу заключается в том, что железо (II) после оксидации кислородом воздуха переходит в декантирующее железо (III). Гидроксид железа (III), формирующийся в нижней части аппарата, намывается на патрон. При этом в начале процесса решающую роль играет различие в зарядах керамического патрона, хлопьев гидроксида железа и ионов железа (II). Нарастающий на патроне слой гидроксида железа служит контактным материалом для новых, постоянно намываемых агрегатов, при этом происходят как физические, так и химические процессы. Патрон служит только опорным каркасом для фильтрующего слоя гидроксида железа. Первой стадией процесса является фильтрование с постепенным закупориванием пор фильтрующей перегородки. Эта стадия заканчивается по достижении определенного отношения объема твердых частиц, задержанных в порах, к объему самих пор, после чего наступает вторая стадия — фильтрование с образованием первоначального слоя осадка. На этом заканчивается

процесс зарядки фильтра и начинается фильтрование с целью обезжелезивания воды.

Обезжелезивание воды упрощенной аэрацией, хлорированием и фильтрованием заключается в удалении избытка углекислоты и обогащении воды кислородом при аэрации, что способствует повышению pH и первичному окислению железоорганических соединений. Окончательное разрушение комплексных соединений железа (II) и частичная его оксидация достигаются путем введения в обрабатываемую воду окислителя (хлора, озона, перманганата калия и др.). Соединения железа (II) и (III) извлекаются из воды при фильтровании ее через зернистую загрузку.

Хлор вводится в водяную подушку через специальную распределительную трубчатую систему, при этом требуется обеспечить необходимую экспозицию окислителя с обрабатываемой водой. В качестве фильтровального аппарата рекомендуются контактные фильтры КФ-5 с повышенной грязеемкостью, в которых фильтрующая загрузка состоит из трех слоев толщиной по 0,6 м: верхний слой — керамзит или полимеры с крупностью зерен 2,3–3,3 мм; средний слой — антрацит с крупностью зерен 1,25–2,3 мм; нижний слой – кварцевый песок с зернами крупностью 0,8–1,25 мм. Скорость фильтрования до 10 м/ч, промывка водовоздушная.

Обезжелезивание воды фильтрованием через модифицированную загрузку применяют при ее повышенной окисляемости. Оно основано на увеличении сил адгезии путем воздействия на молекулярную структуру поверхности зерен фильтрующей загрузки. Для увеличения сил адгезии необходимо на поверхности зерен фильтрующей загрузки образовать пленку путем модификации загрузки, предусматривающей последовательную обработку 1,5 %-ным раствором сернокислого железа (II), а затем 0,5 %-ным раствором перманганата калия. Суммарная продолжительность контакта 30 мин. Спустя 20 мин после начала работы фильтрат отвечает требованиям СанПиН на питьевую воду.

Обезжелезивание методом напорной флотации основано на действии молекулярных сил, способствующих слипанию отдельных частиц гидроксида железа с пузырьками тонкодиспергированного в воде воздуха и всплыванию образующихся при этом агрегатов на поверхность воды. Метод флотационного выделения дисперсных и коллоидных примесей природных вод весьма перспективен вследствие резкого сокращения продол-

жительности процесса (в 3–4 раза) по сравнению с осаждением или обработкой в слое взвешенного осадка. Можно выделить следующие стадии процесса: оксидация железа (II); растворение воздуха в воде и образование пузырьков; образование комплексов «пузырек воздуха — хлопья гидроксида железа»; подъем этих комплексов на поверхность воды.

На эффективность процесса всплывания хлопьев при флотационном разделении оказывают влияние концентрация взвешенных веществ (исходная концентрация железа, доза извести), количество и размер пузырьков, продолжительность флотации, а также гидродинамические условия.

Удаление *высококонцентрированных устойчивых форм железа из воды аэрацией, известкованием, отстаиванием в тонком слое и фильтрованием* (рис. 5.28, *д*) достигается после полной оксидации железа (II) и деструкции комплексных железоорганических соединений при pH не менее 7,1. Процесс выделения соединений железа производится в тонкослойном отстойнике. Эффект обезжелезивания воды зависит главным образом от скорости потока в тонкослойных модулях, исходной концентрации железа и дозы щелочного реагента.

Обезжелезивание поверхностных вод осуществляют при одновременном осветлении и обесцвечивании. Железо, находящееся в воде в виде коллоидов, тонкодисперсных взвесей и комплексных соединений, удаляется обработкой воды коагулянтами. Для разрушения комплексных органических соединений железа воду обрабатывают хлором, озоном или перманганатом калия. При использовании железных коагулянтов достигается более полное удаление железа из воды в результате интенсивной адсорбции ионов железа на хлопьях гидроксида. Оптимум адсорбции ионов железа в случае применения как солей алюминия, так и солей железа в качестве коагулянта лежит в интервале значений pH воды 5,7–7,5. Доза коагулянта устанавливается экспериментально. Технологическая схема обезжелезивания воды методом коагулирования включает реагентное хозяйство, смесители, осветлители и скорые фильтры.

5.14. Умягчение воды

Умягчение воды — процесс понижения ее жесткости, обусловленной наличием солей кальция и магния.

Допустимая жесткость питьевой воды должна быть не более 7 мг-экв/л, в исключительных случаях — до 10 мг-экв/л, а для вод тепловых сетей, воды, идущей на приготовление пара, и для некоторых других производств приходится снижать жесткость до 1,0–0,001 мг-экв/л. В практике водоподготовки применяют следующие методы умягчения воды:

реагентный, когда ионы кальция и магния связываются химическими веществами в малорастворимые и легко удаляемые соединения — карбонат кальция и гидроксид магния (часто реагентный метод умягчения воды называют методом осаждения). В зависимости от применяемого реагента различают известковый, известково-содовый, едконатриевый, фосфатный и другие способы умягчения воды;

катионитный, основанный на способности ионообменных материалов (в данном случае катионитов) обменивать присутствующие в воде катионы кальция и магния на обменные катионы натрия или водорода (не придающие воде свойства жесткости), которыми пердварительно заряжается катионит. Обмен ионов натрия называется Na^+-катионированием, а ионов водорода — H^+-катионированием;

диализ Доннана, осуществляемый на мембранных аппаратах: исходная жесткая вода движется в камере с одной стороны катионитовой мембраны, рассол NaCl в камере — по другую сторону мембраны, ионы натрия мигрируют в мембрану и далее в исходную воду, а ионы кальция — в противоположном направлении, т. е. из жесткой воды в рассол;

термохимический, при котором реагентное умягчение осуществляют обычно с использованием 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.

Выбор того или иного метода определяется качеством исходной воды, необходимой глубиной умягчения и технико-экономическими соображениями.

Обычно для умягчения подземных вод рекомендуется применять катионообменный метод; для поверхностных вод, когда одновременно требуется и осветление воды, — известковый или известково-содовый метод умягчения. Практически глубина умягчения известковым или известково-содовым способом составляет 0,5–1 мг-экв/л.

Умягчение воды известкованием применяют при высокой карбонатной и низкой некарбонатной жесткости. Сущность этого метода умягчения воды сводится к следующим основным процессам:

1) раствор извести (известковое молоко) обогащает воду ионами OH^- и Ca^{2+}:

$$Ca(OH)_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2\ OH^-;$$

2) обогащение воды ионами OH^- приводит к связыванию свободной углекислоты CO_2:

$$CO_2 + 2\ OH^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_2O;$$

3) бикарбонаты HCO_3^-, находящиеся в умягчаемой воде, переходят в карбонаты CO_3^{2-}:

$$HCO_3^- + OH^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_2O;$$

4) повышение концентрации CO_3^{2-} ионов и наличие кальция Ca^{2+} в исходной воде и введенного с известью приводит к превышению произведения растворимости карбоната кальция $ПР_{CaCO_3}$ и его осаждению:

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3\downarrow;$$

5) при добавлении избытка извести осаждается также и магний в виде $Mg(OH)_2$:

$$Mg^{2+} + 2\ OH^- \leftrightarrow Mg(OH)_2\downarrow.$$

Для улучшения удаления тонкодисперсных и коллоидных примесей и снижения щелочности воды одновременно с известкованием проводят коагуляцию этих примесей, используя в качестве коагулянта железный купорос $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

Повышенное содержание органических примесей и преобладание магниевой жесткости над кальциевой снижают скорость процесса умягчения.

В практике применяется также известково-содовый метод умягчения. В этом случае помимо реакций (описанных выше), идущих при добавлении извести, дополнительно удаляется некарбонатная жесткость воды за счет введения кальцинированной соды Na_2CO_3.

Доза извести в пересчете на CaO может быть определена по формуле

$$Д_и = 28\left(\frac{[CO_2]}{22} + Ж_к + \frac{[Mg^{2+}]}{12} + \frac{Д_к}{e_к} + 0{,}5\right),\ мг/л,$$

где $[CO_2]$ и $[Mg^{2+}]$ — концентрации соответственно CO_2 и ионов Mg^{2+}, мг/л; $Д_к$ — доза коагулянта, мг/л; 28, 22, 12 и $е_к$ — эквиваленты соответственно CaO, CO_2, Mg^{2+} и коагулянта, мг/мг-экв; 0,5 — запас извести, мг-экв/л; $Ж_к$ — карбонатная жесткость, мг-экв/л.

Доза кальцинированной соды Na_2CO_3 может быть определена по формуле

$$Д_с = 53(Ж_{нк} + \frac{Д_к}{е_к} + 1), \text{ мг/л},$$

где $Ж_{нк}$ — некарбонатная жесткость воды, мг-экв/л; $Д_к$ — доза коагулянта, мг/л; 53 и $е_к$ — эквиваленты соответственно кальцинированной соды Na_2CO_3 и коагулянта, мг/мг-экв; 1 — запас соды, мг-экв/л.

Более глубокому умягчению способствуют подогрев воды, добавление избытка реагента-осадителя и создание контакта умягчаемой воды с ранее образовавшимся осадком.

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^+-, NH^+_4-катионирования.

Процесс обмена ионов между катионами и раствором, содержащим соли жесткости, зависит от многих факторов: свойств катионитов, состава исходной воды, условий прохождения процесса и др.

Все эти факторы тесно связаны между собой и прежде всего определяют скорость прохождения ионообменных реакций. Реакция обмена между катионитом и ионами исходной воды обусловливается диффузией ионов из раствора внутрь катионита и из катионита в исходную воду.

В качестве катионитов в настоящее время применяют искусственно получаемые материалы, например сульфоуголь, катиониты марки КУ-1, КУ-2-8 и др.

Особенностью Na^+-катионирования является то, что карбонатная жесткость умягченной воды, обусловленная бикарбонатами кальция и магния, переходит в бикарбонатную щелочность $NaHCO_3$, т. е. концентрация бикарбонатных ионов не изменяется.

Наибольшее практическое применение нашло сочетание процессов Na^+- и H^+-катионирования, в результате чего может быть достигнута требуемая щелочность или кислотность при взаимной нейтрализации кислой и щелочной воды.

При одноступенчатом катионировании жесткость может быть снижена до 0,1 мг-экв/л, при двухступенчатом — до 0,01 мг-экв/л.

После исчерпания обменной емкости катионита делается его регенерация 6–10 %-ным раствором поваренной соли NaCl, если катионит в Na^+-форме, или 2–3 %-ным раствором кислоты для H^+-катионита.

Процесс регенерации включает следующие операции: взрыхление катионита исходной водой, подаваемой снизу вверх с интенсивностью 3–4 л/(с · м^2); пропуск регенерационного раствора сверху вниз со скоростью ~ 3–5 м/ч и отмывку катионита исходной водой со скоростью ~ 10 м/ч.

Отмывка заканчивается при снижении жесткости фильтрата до 0,1 мг-экв/л, после чего фильтр включается в рабочий цикл.

Основной величиной, определяющей нагрузку на катионообменную установку за один цикл, является количество удаляемых солей жесткости (катионов), г-экв:

$$E = Q \cdot Ж_о/n,$$

где Q — количество умягчаемой воды, м^3/сут; $Ж_о$ — общая жесткость умягчаемой воды, г-экв/м^3; n — предполагаемое число регенераций в сутки.

5.15. Опреснение и обессоливание воды

Снижение солесодержания воды до требований СанПиН 2.1.4.559-96 на питьевую воду или до возможно низкого предела (долей мг/л) называют соответственно опреснением или обессоливанием.

Степень обессоливания определяется по удельной электрической проводимости (Ом$^{-1}$ · см$^{-1}$) или по обратной величине — удельному сопротивлению (Ом · см).

К настоящему времени в мировой практике определились следующие основные методы опреснения воды: *дистилляция, ионный обмен, электродиализ, вымораживание, гелиоопреснение и обратный осмос* (*гиперфильтрация*). Обессоливание достигается в основном дистилляцией, ионным обменом. Возможно

и применение многокамерных электродиализаторов с камерами, заполненными специальными смесями ионитов.

Выбор метода опреснения или обессоливания обусловливается качеством исходной и требованиями к обработанной воде, производительностью установки и технико-экономическими соображениями.

Априорно можно сказать, что при солесодержании в воде до 2–3 г/л рекомендуется ионообменный метод, более 10 г/л — дистилляция, замораживание или обратный осмос, 2,5–15 г/л — электродиализ или обратный осмос.

Дистилляция — наиболее изученный и распространенный метод опреснения соленых, особенно морских вод. Его целесообразно применять при наличии крупного источника дешевого тепла и большого количества исходной воды.

Принцип дистилляции основан на том, что при нагревании соленой воды до температуры выше температуры кипения (при данном солесодержании и давлении) образовавшийся пар при давлении менее 50 кгс/см^2 практически не способен растворять содержащиеся в опресняемой воде соли, поэтому при его конденсации получается пресная вода.

Для выпаривания используют теплоту, выделяющуюся при сгорании топлива, теплоту конденсации пара, энергию солнечных лучей, атомных реакторов и т. д.

Простейшая одноступенчатая испарительная установка состоит из котла, где образуется пар при кипячении воды, испарителя со змеевиком, конденсатора пара и сборника обессоленной воды (рис. 5.29).

Многоступенчатые дистилляционные опреснительные установки представляют собой несколько последовательно работающих одноступенчатых дистилляционных установок. По такой схеме вторичный пар предыдущей ступени используется в качестве греющего пара для испарения воды в последующей. Пар последующей ступени поступает в конденсатор, где охлаждается и конденсируется. В настоящее время получил распространение и метод мгновенного испарения («флеш»), который основан на явлении снижения температуры кипения воды по мере уменьшения давления в испарителях. Чем выше температура воды и глубже вакуум, тем больше воды испаряется.

При использовании *ионообменного метода* соленая вода последовательно проходит через фильтры, загруженные катионитом и анионитом, которые периодически регенерируются 2–5 %-ным раствором кислоты и щелочи соответственно.

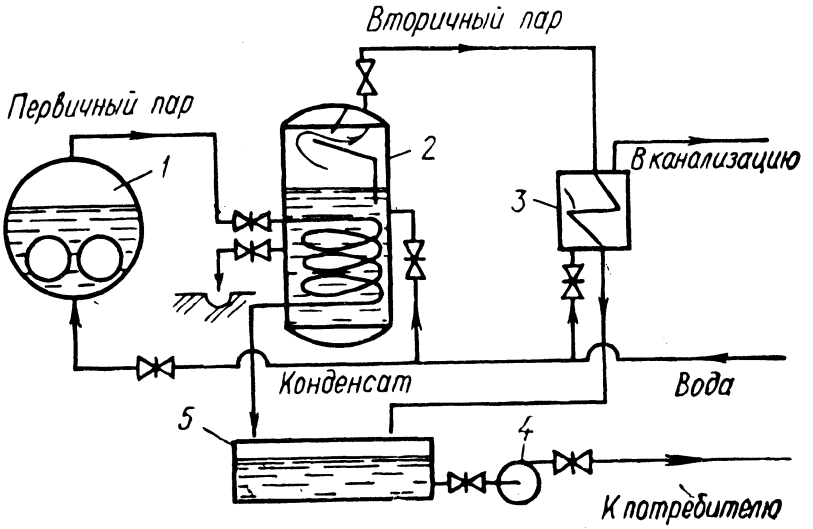


Рис. 5.29. Схема одноступенчатой испарительной установки:
1 — котел для нагревания воды до кипения; *2* — испаритель; *3* — конденсатор; *4* — насос; *5* — сборный бак обессоленной воды

Пример одноступенчатой схемы для опреснения воды, состоящей из катионитовых фильтров с сильнокислотным катионитом КУ-2-8; дегазатора для отдувки CO_2, образующегося после H^+-катионитовых фильтров; анионитовых фильтров со среднеосновным анионитом ЭДЭ-10П и буферным Na^+-катионитовым фильтром для корректировки pH после опреснения, показан на рис. 5.30.

В соответствии с необходимой глубиной обессоливания воды проектируют одно-, двух- и трехступенчатые установки. В схемах глубокого обессоливания воды применяют так называемые фильтры смешанного действия.

Электродиализ — процесс сепарации ионов солей, осуществляемый в многокамерном аппарате (электродиализаторе) под действием постоянного электрического тока, направленного перпендикулярно к плоскости мембран. В электродиализаторах для опреснения применяют катионитовые «МК-40» и анионитовые «МА-40» мембраны. С помощью ионов мембрана проводит ток лишь одного знака: катионитовые мембраны пропускают положительно заряженные ионы, а анионитовые — отрицательно заряженные. На этом свойстве мембран, называемом селективностью, основан метод электродиализного опреснения воды.

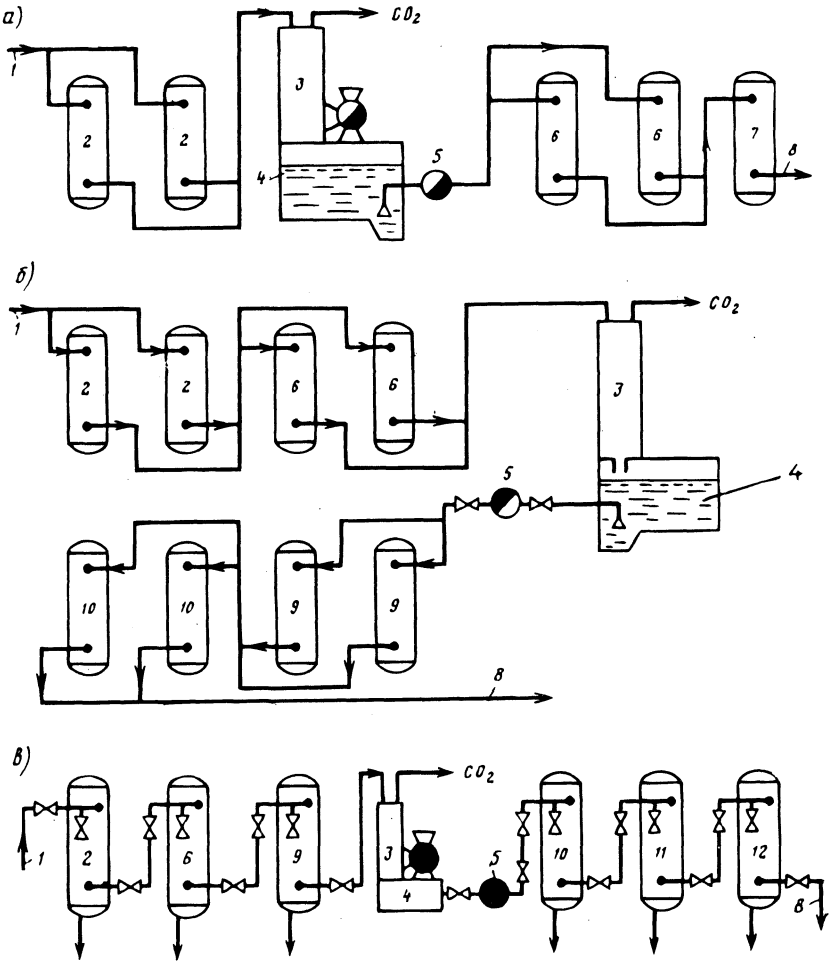


Рис. 5.30. Технологические схемы ионитового обессоливания воды: *а* — одноступенчатая; *б* — двухступенчатая; *в* — трехступенчатая; *1, 8* — подача исходной и отвод обессоленной воды; *2* — водород-катионитовые фильтры; *3* — дегазатор; *4* — промежуточный резервуар; *5* — насос; *6* — анионитовые фильтры; *7* — буферный натрий-катионитовый фильтр; *9* — водород-катионитовые фильтры II ступени; *10* — анионитовые фильтры II ступени (с сильноосновным анионитом); *11* — водород-катионитовые фильтры III ступени; *12* — анионитовые фильтры III ступени

Аппарат, в котором производится отделение солей от воды, называется многокамерным электродиализатором. Он имеет по

одному катоду и аноду (из специального графита или платинированного титана) и до 300 камер, образованных стенками катионитовых и анионитовых мембран. Схема многокамерного электродиализного аппарата представлена на рис. 5.31.

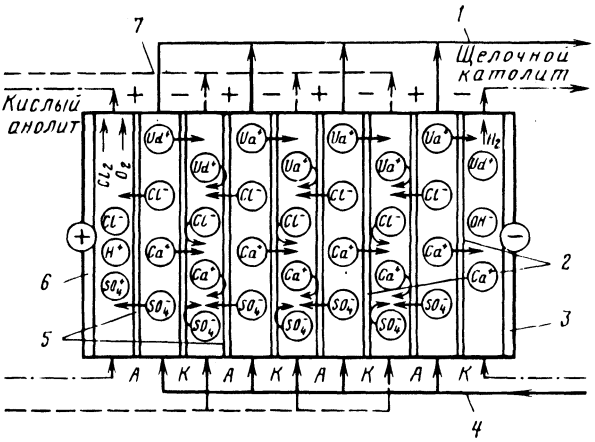


Рис. 5.31. Схема многокамерного электродиализного аппарата: *1, 4* — отвод обессоленной и подача исходной воды; *2, 5* — ионоселективные канионитовые и анионитовые мембраны; *3* — катод; *6* — анод; *7* — отвод концентрата

Широкое распространение получил *метод обратного осмоса.* Это процесс разделения истинных растворов, заключающийся в фильтровании жидкости через полупроницаемые мембраны, которые пропускают растворитель (воду) и задерживают растворенные вещества.

Давление, под которым осуществляется фильтрование, должно превышать осмотическое, обусловленное различием концентраций солей в пресной и соленой воде (для воды океана при солесодержании 35 г/л осмотическое давление составляет, например, 2,4 МПа).

Таким образом, движущей силой процесса обратного осмоса будет давление $\Delta P = P-(\Pi_1-\Pi_2)$, где P — давление над раствором опресняемой воды; Π_1 и Π_2 — осмотическое давление соответственно опресняемой воды и фильтрата.

Частным случаем обратного осмоса является ультрафильтрация, основанная на фильтровании водных коллоидных растворов через более крупнопористые полупроницаемые мембраны.

5.16. Фторирование и обесфторивание воды

Содержание фтора в питьевой воде согласно СанПиН в зависимости от климатических условий должно поддерживаться в пределах 0,7–1,5 мг/л. Недостаток фтора в питьевой воде приводит к кариесу зубов у населения, избыток — к флюорозу.

В качестве фторсодержащих реагентов можно использовать: кремнефтористый натрий Na_2SiF_6, кремнефтористоводородную кислоту H_2SiF_6, фтористый натрий NaF, кремнефтористый аммоний $(NH_4)_2SiF_6$, фтористый кальций CaF_2, фтористоводородную кислоту HF, кремнефтористый калий K_2SiF_6, кремнефтористый алюминий $Al_2(SiF_6)_3$, фтористый алюминий AlF_3 и др. В отечественной практике широкое применение получил кремнефтористый натрий. Это мелкий, сыпучий, негигроскопический кристаллический порошок белого цвета, без запаха, удобен в эксплуатации. Плотность его 2,7 г/см^3, pH насыщенного раствора 3,5–4,0. В воде растворяется плохо. Самый дешевый из всех перечисленных реагентов — фтористый кальций, но он имеет крайне низкую растворимость в воде (0,0016 г на 100 мл при 25 °С).

Установки фторирования по технологии приготовления растворов фторсодержащих реагентов можно классифицировать: на установки сатураторного типа; с растворными баками (с механической мешалкой или с барботированием сжатым воздухом); с растворно-затворными баками; с применением кремнефтористоводородной кислоты.

На установках *сатураторного типа* в качестве реагента применяют порошкообразный кремнефтористый натрий, который вводят в воду перед хлорированием. Предварительно реагент замачивают и размешивают в емкости, а затем выливают в сатуратор (примерно 1 раз в смену). В основу работы сатуратора положен принцип объемного вытеснения.

Во *фтораторных установках с растворными баками* в качестве реагента используют кремнефтористый натрий. Загрузку в баки реагентов осуществляют с помощью бункеров, оборудованных вибраторами и дозаторами объемного типа. Для лучшего растворения реагента баки снабжены мешалками с частотой вращения 50–60 мин$^{-1}$, возможно перемешивание сжатым воздухом. Время перемешивания 2 ч, время отстаивания 2 ч. Концентрация раствора реагента в баках оставляет 0,05 % по фтору или 0,008 % по чистой соли.

Фтораторные установки с затворно-растворными баками состоят из системы баков: затворного, двух растворных и дозирующего бака, снабженного поплавковым клапаном. Затворный и растворные баки оборудованы электросмесителями. Растворяют фтористый натрий в воде, нагретой до 75–80 °С.

При применении 8 %-ной кремнефтористоводородной кислоты она из автомобильной или железнодорожной цистерны, в которой транспортируется, с помощью воздуходувок передавливается в стационарные складские цистерны, а из них поступает в бак-мерник, откуда эжектором дозируется в воду.

В зарубежной практике фтористые соединения вводятся в воду в сухом виде — непосредственно порошком, сухими дозаторами, через растворную камеру или в жидком виде — дозаторами для растворов. Первый способ обычно реализуют на водоочистных комплексах большой производительности, второй — на установках малой производительности.

Для обесфторивания воды может быть использован ряд методов.

1. *Метод сорбции фтора осадком гидроксида алюминия или магния, а также фосфата кальция*, который целесообразно применять при обработке поверхностных вод, когда кроме обесфторивания требуется еще их осветление и обесцвечивание. Вместе с тем метод используется для обработки подземных вод при необходимости одновременного умягчения воды реагентным методом (рис. 5.32, *а*).

Исследования, выполненные в МГСУ (Г.И. Николадзе и др.), показали, что процесс сорбции фтора свежеобразованным гидроксидом магния при pH = 9 протекает быстро и интенсивно, практически не зависит от температуры и заканчивается за 8–12 мин, сорбционная способность гидроксида магния может быть использована более полно пропусканием обрабатываемой воды через его взвешенный слой.

Рекомендуемая скорость восходящего движения воды в осветлителях — 0,2–0,3 мм/с. Высота слоя осадка принимается 2–2,5 м. Время пребывания воды в слое контактного осадка не менее 1 ч. При этом расход магния на удаление 1 мг фтора — около 30 мг.

Обесфторивание воды солями алюминия целесообразно проводить при низких значениях pH = 4,3–5. В этом случае в осадке преимущественно находится основной сульфат алюминия — $Al(OH)SO_4$ и уменьшается содержание гидроксида алюминия $Al(OH)_3$, который сорбирует фтор в меньшей степени, чем

$Al(OH)SO_4$. При таких pH требуются меньшие дозы сульфата алюминия: 25–30 мг на 1 мг удаляемого фтора.

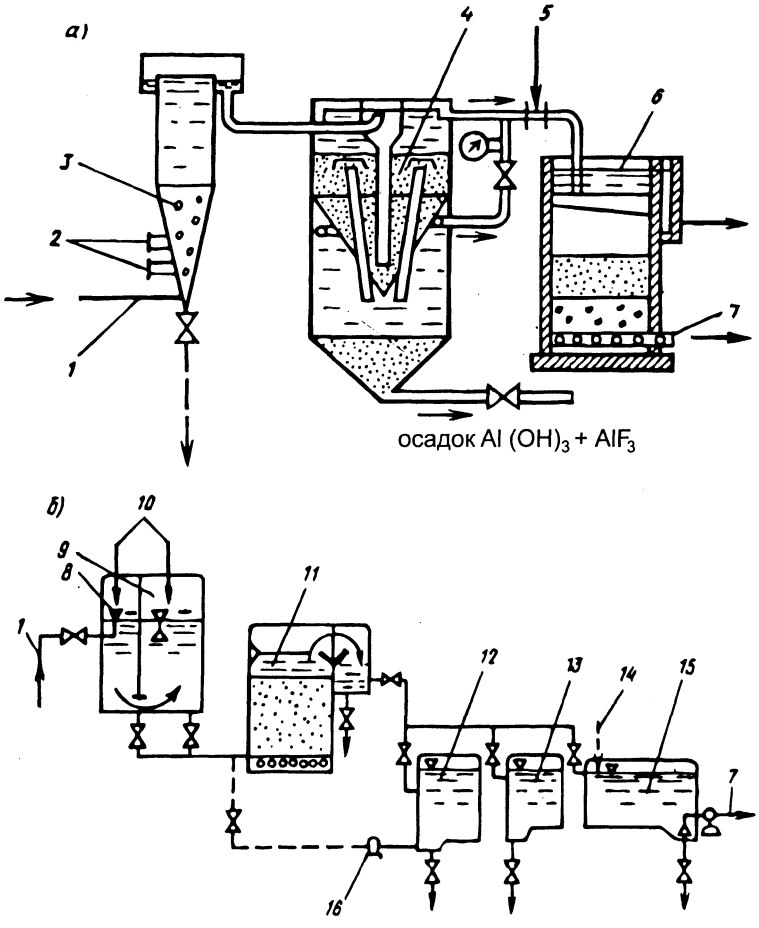


Рис. 5.32. Схема дефторирования воды сорбцией на свежеобразованном гидроксиде алюминия (*а*) и фильтрованием через зернистую загрузку, заряженную сульфат-ионами (*б*):

1, *7* — подача исходной и отвод дефторированной воды; *2* — ввод раствора извести (соды) и сульфата алюминия; *3* — смеситель; *4* — осветлитель со слоем взвешенного осадка; *5* — ввод кислоты для стабилизации воды; *6* — скорый фильтр; *8*, *9* — зарядная и рабочая камеры смесителя; *10* — подача сульфата алюминия; *11* — контактный осветлитель; *12* — резервуар сбора первого фильтрата; *13* — отстойник промывной воды; *14* — ввод хлора; *15* — резервуар чистой воды; *16* — насос

Удаление фтора из воды с помощью трикальцийфосфата основано на сорбции свежеобразованным трикальцийфосфатом, который связывает имеющийся в воде фтор в малорастворимое соединение — $[Ca_9(PO_4)_6Ca]F_2$, выпадающее в осадок. Расход трикальцийфосфата на удаление 1 мг фтора составляет 23–30 мг. Связывание фтора описывается следующей реакцией:

$$3Ca_3(PO_4)_2 + NaF + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow [Ca_9(PO_4)_6Ca]F_2 + 2NaHCO_3.$$

Скорость восходящего потока воды в слое взвешенного осадка принимают 0,6–0,8 мм/с. Содержание фтора снижается с 5 до 1 мг/л при расходе реагента 30 мг на 1 мг удаленного фтора.

В описанных случаях технологическая схема дефторирования воды с использованием соответствующих реагентов включает вертикальные вихревые смесители, осветлители со слоем взвешенного осадка и скорые фильтры.

Технико-экономическое сравнение трех рассмотренных сорбционных способов дефторирования воды показало, что наиболее целесообразно применять для указанной цели гидроксид магния.

2. В.Л. Драгинский (НИИ КВОВ) и др. предложили обесфторивание воды *методом контактно-сорбционной коагуляции.* Коагулянт — сернокислый алюминий вводится в воду непосредственно перед контактными осветлителями. Метод применим при концентрации фтора до 5 мг/л, сероводорода до 2 мг/л, щелочности до 6 мг-экв/л. На 1 мг удаляемого фтора расходуется ~ 80 мг сульфата алюминия.

3. *Дефторирование воды активированным оксидом алюминия* (*дефлюоритом*) обеспечивает высокий эффект удаления фтора из подземных вод. Зернистый активированный оксид алюминия (ЗАОА) является наиболее дешевым сорбентом, простым в изготовлении и емким по поглощению фтора. При фильтровании обрабатываемой воды со скоростью 5–7 м/ч через ЗАОА происходит поглощение фтора сорбентом в результате обмена сульфат-ионов на фтор-ионы. Регенерация сорбента производится пропуском через него 1–1,5 %-ного раствора сульфата алюминия. Емкость поглощения 1 г ЗАОА составляет 2–2,5 мг фтор-ионов.

Описанный процесс осуществляется на скорых напорных или открытых фильтрах или контактных осветлителях (рис. 5.32, *б*), загруженных ЗАОА. Помимо фильтров установка по удалению фтора из воды должна иметь реагентное хозяйство для приготов-

ления регенерационных растворов, баки для воды, используемой для взрыхления и отмывки сорбента.

Обесфторивание воды по данному методу характеризуется наибольшим технико-экономическим эффектом, так как себестоимость обработки воды здесь минимальная по сравнению со всеми ранее рассмотренными методами.

4. Для подземных вод, не требующих осветления и обесцвечивания, возможно *обесфторивание с применением сильноосновных анионитов*. По экономическим соображениям это целесообразно при необходимости одновременного опреснения воды.

5.17. Оборот промывных вод и обработка осадка

В целях охраны окружающей среды и рационального использования воды на водоочистных комплексах применяют повторное использование воды после промывки фильтровальных сооружений и обработку осадка от сооружений I ступени очистки и реагентного хозяйства. Этот осадок утилизируется.

С чисто экономической точки зрения оборот промывной воды особенно эффективен при значительном удалении водоочистных комплексов от водоисточников или при большой разнице отметок между ними.

При двухступенчатой очистке на водоочистных комплексах промывные воды от фильтров, пройдя песколовку, поступают в резервуар-усреднитель, а из него без отстаивания или после отстаивания равномерно передаются в головной узел очистных сооружений. При очистке воды только фильтрованием промывные воды через песколовку поступают в отстойники периодического действия; время отстаивания 1 ч, дозы полиакриламида 0,08–0,16 мг/л. При отсутствии предварительного хлорирования оборотные промывные воды необходимо обеззараживать хлором дозой 2–4 мг/л.

В технологии обработки промывных вод и осадка предусматривают следующие основные сооружения: резервуары, отстойники, сгустители, накопители или площадки замораживания и подсушивания осадка. Допускаются механическое обезвоживание и регенерация коагулянта из осадка.

Сгустители с медленным перемешиванием используют для ускорения уплотнения осадка из сооружений I ступени очистки воды и реагентного хозяйства, а также осадка из отстойников промывных вод.

Продолжительность цикла сгущения осадка на радиальном отстойнике-сгустителе принимают 5–10 ч.

Накопители предусматриваются для складирования и обезвоживания осадка с удалением осветленной воды и воды, выделившейся при уплотнении осадка. Расчетный период для накопителя — 5 лет. В качестве накопителей используют отработанные карьеры, овраги или спланированные площадки глубиной не менее 2 м. В большинстве случаев площадки устраивают на естественном грунтовом основании с системой водосливов отстоенной воды и дренажами из труб. На практике одну карту заполняют до предела, после чего в течение 2–3 лет уменьшается влажность осадка на 60–70 %. При такой влажности осадок погружают на самосвалы и вывозят на заранее выбранную территорию.

Площадки замораживания для обезвоживания осадка устраивают в районах с периодом устойчивого мороза не менее 2 месяцев в году с последующим его удалением в места складирования.

Может применяться и механическое обезвоживание осадка на фильтр-прессах или вакуум-фильтрах. Для этого требуется предварительная подготовка осадка, которая заключается в разрушении гелеобразной структуры гидроксида алюминия. Хороший эффект дает применение извести. Использование фильтр-пресса считается экономичным для осадков средней цветности и мутности.

Для регенерации коагулянта — сульфата алюминия производят обработку осадка серной кислотой. Расход кислоты в среднем составляет 3 кг на 1 кг оксида алюминия. Применение кислотной обработки имеет ограничения. Нецелесообразно ее осуществлять для высокоцветных и высокомутных вод, так как в первом случае восстановленный коагулянт будет загрязнен растворенными органическими веществами, обусловливающими цветность, а во втором — будет иметь низкое содержание гидроксида алюминия и большой абсолютный объем. Также возникает опасность растворения кислотой токсичных загрязнений из осадка и переход их в обрабатываемую воду.

После механического обезвоживания влажность осадков составляет не менее 50 %. По мнению специалистов, лучшим способом остается размещение осадка по территории при соблюдении соответствующих условий: безвредность содержащихся в осадке веществ для местности; вода, проникающая

в кек, должна испаряться; после дождя кек не должен превращаться в суспензию.

5.18. Стабилизация воды

Стабильность — один из основных показателей качества воды. Если очищенная водопроводная вода, проходя по сети, вызывает коррозию труб или образует осадок, то ее нельзя считать удовлетворительной по качеству. Нарушение стабильности воды может быть вызвано наличием свободной углекислоты CO_2, кислорода O_2, низким pH, пересыщенностью ее карбонатом кальция или гидроокисью магния, повышенными концентрациями сульфатов и хлоридов.

Стабильной считается вода, которая не выделяет и не растворяет осадка карбоната кальция $CaCO_3$. Это свойство характеризуется показателем стабильности (С).

Показатель стабильности выражается

$$C = \frac{Щ_и}{Щ_н} \text{ или } C = \frac{pH_и}{pH_н},$$

где $Щ_и$ и $pH_и$ — щелочность (мг-экв/л) и pH исходной воды; $Щ_н$ и $pH_н$ — щелочность (мг-экв/л) и pH после насыщения воды $CaCO_3$.

Если показатель стабильности равен единице, то вода стабильная, меньше единицы — агрессивная, больше единицы — склонна к отложению осадка $CaCO_3$.

Определение стабильности производится взбалтыванием воды с карбонатом кальция $CaCO_3$. Если вода содержит агрессивную углекислоту, то $CaCO_3$ растворяется и переходит в бикарбонат кальция $Ca(HCO_3)_2$. В результате щелочность и pH повышаются. Если исходная вода пересыщена $CaCO_3$, то он отлагается на зернах введенного в воду карбоната кальция, pH и щелочность при этом понижаются.

При отсутствии данных технологических анализов стабильность допускается определять по значению индекса стабильности (или индекса насыщения) *I*:

$$I = pH_и - pH_н,$$

где $pH_и$ и $pH_н$ — pH исходной воды и pH ее после насыщения $CaCO_3$.

$pH_н$ рассчитывается на основании данных анализа воды:

$$pH_н = f_1(t) - f_2\ (Ca^{2+}) - f_3\ (Щ) + f_4\ (P),$$

где $f_1\ (t)$, $f_2\ (Ca^{2+})$, $f_3\ (Щ)$, $f_4\ (P)$ — функции соответственно температуры, содержания Ca^{2+}, щелочности и солесодержания. При их вычислении пользуются номограммами СНиП 2.04.02-84.*

При подсчете индекса стабильности для воды после обработки ее минеральными коагулянтами определяют pH воды после коагуляции по номограмме СНиП 2.04.02-84* исходя из значений температуры, общего солесодержания, щелочности и концентрации в ней CO_2.

Щелочность воды и концентрацию CO_2 после коагуляции можно определить по формулам:

$$Щ_к = Щ_0 - \frac{Д_к}{e_к},\ мг\text{-}экв/л;$$

$$[CO_2]_к = [CO_2]_0 + 44\frac{Д_к}{e_к},\ мг/л,$$

где $Щ_0$ — щелочность воды до коагуляции, мг-экв/л; $[CO_2]_0$ — концентрация углекислоты до коагуляции, мг/л; $Д_к$ — доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, мг/л; $e_к$ — эквивалентная масса безводного коагулянта, мг/мг-экв; 44 — эквивалентная масса CO_2, мг/мг-экв.

При одновременной обработке воды коагулянтом и хлором в приведенных выше формулах необходимо учитывать взаимодействие хлора с гидрокарбонатами воды. Для этого в первой формуле из найденного значения следует вычесть хлорпоглощаемость воды (ХП), а во второй формуле добавить 44(ХП).

Стабилизационную обработку воды необходимо производить при отрицательном индексе стабильности более 8 мес в году и при положительном индексе стабильности ($I > 0{,}5$) в течение 8–10 мес.

При отрицательном индексе стабильности она заключается в подщелачивании, фильтровании через мраморную крошку или магномассу или в удалении CO_2 аэрированием. При этом предусматривается создание условий для образования защитной карбонатной пленки на внутренней поверхности труб.

В качестве подщелачивающих реагентов используют известь $Ca(OH)_2$ или соду Na_2CO_3:

$$CaO + 2CO_2 + H_2O = Ca(HCO_3)_2;$$
$$Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O = 2\ NaHCO_3.$$

Соду применяют в том случае, если в воде содержатся ионы Ca^{2+} в количестве, достаточном для образования защитной пленки карбоната кальция.

Щелочные реагенты следует подавать в очищенную воду перед вторичным хлорированием. Возможно их введение и в процессе очистки, если это не ухудшает технологического процесса и не снижает эффективности стабилизационной обработки воды.

Стабилизацию воды, содержащей агрессивную углекислоту, также производят фильтрованием через мраморную крошку $CaCO_3$, или доломит $CaCO_3 \cdot MgO$, или обожженный магнезит MgO. При этом самопроизвольно устанавливается карбонатное равновесие:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca\ (HCO_3)_2.$$

Фильтры загружают крошкой перечисленных выше материалов с размером частиц 0,5–3 мм, высоту слоя принимают до 2 м, скорость фильтрования через мраморную крошку — до 10 м/ч, через магномассу — 10–20 м/ч. Фильтры периодически догружают зернистым активным материалом, пополняя его расход на стабилизационную обработку воды. Для связывания 1 мг агрессивного оксида углерода (IV) расходуется 2,3 мг мрамора, или 1,1 мг магномассы.

Для осветления и стабилизации могут быть применены комбинированные фильтры, загруженные песком и мраморной крошкой.

Удаление избыточного количества CO_2 производится на вентиляторных градирнях с деревянной хордовой насадкой или насадкой из колец Рашига. Нагрузка на градирню в первом случае составляет 40, во втором — 60 $м^3/(м^2 \cdot ч)$, расход воздуха принимают 20 $м^3/м^3$ воды. Остаточное содержание CO_2 в воде после градирни — 8–10 мг/л.

При положительном индексе стабильности воду стабилизируют подкислением, используя раствор серной или соляной кислот:

$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2CO_2 + 2H_2O;$$
$$Ca(HCO_3)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2CO_2 + 2H_2O.$$

Также могут использоваться фосфатные реагенты: гексаметафосфат $x\mathrm{Na_2O} \cdot y\mathrm{P_2O_5}$ ($1 \le x/y \le 1{,}7$) или триполифосфат натрия $\mathrm{Na_3PO_4} \cdot 12\mathrm{H_2O}$.

В этом случае при использовании воды для питьевых целей остаточное содержание фосфат-ионов в соответствии с СанПиН не должно превышать 3,5 мг/л.

Гексаметафосфат или триполифосфат натрия применяют для борьбы с коррозией стальных и чугунных труб. Обработку воды этими реагентами следует проводить постоянно дозой до 3,5 мг/л. Их действие проявляется в образовании защитных пленок на поверхности металла и торможении коррозионного процесса. При вводе в эксплуатацию новых участков трубопроводов предусматривают их заполнение на 3–4 сут раствором указанных реагентов с концентрацией 200–300 мг/л (в пересчете на P_4^{3-}) с последующим сбросом этого раствора и промывкой трубопроводов водой, содержащей фосфаты в количестве, необходимом для постоянной обработки.

Во избежание существенного повышения коррозионной активности воды целесообразно вместо сернокислого алюминия использовать оксихлорид алюминия или гидроалюминат натрия.

5.19. Компактное водоочистное оборудование

В последние годы, несмотря на определенные трудности в экономике, промышленности и коммунальном хозяйстве, наблюдается заметное повышение практического интереса к компактным водоочистным установкам хозяйственно-питьевого назначения.

Разработан ряд технологических схем и конструктивных решений для компактных станций и установок заводского изготовления, позволяющих в короткие сроки решать задачи обеспечения водой разнообразных объектов, в том числе отдельных зданий, поселков сельского и городского типа и т. д., при гарантии надежности, качества очистки воды и минимального объема обслуживания.

Строительство малых водоочистных комплексов, сооружаемых непосредственно на месте по разработанным типовым и индивидуальным проектам, сопряжено с более высокими эксплуатационными затратами, длительным сроком и низким качеством строительства.

Из установок безреагентного типа наибольший интерес представляют установки «Плот-фильтр», ОИСИ, АзНИИВП, «Струя» (может работать и в реагентном режиме), «Деферрит», «Родник-3М», «ЭОУ-НИИПМ-25 М», НИМИ, а из установок реагентного типа — ДонУГИ, «Влага», ВНИИГи М, ЦНИИ МПС. В этих аппаратах применяются новые технологические процессы и новые конструктивные элементы, такие, как осветление воды в тонком слое, в гидроциклонах и акустических фильтрах, фильтры (многослойные, многопоточные) с новыми фильтрующими зернистыми материалами, электрокоагуляторы, электролизеры, электродиализаторы, установки бактерицидного облучения и т. п.

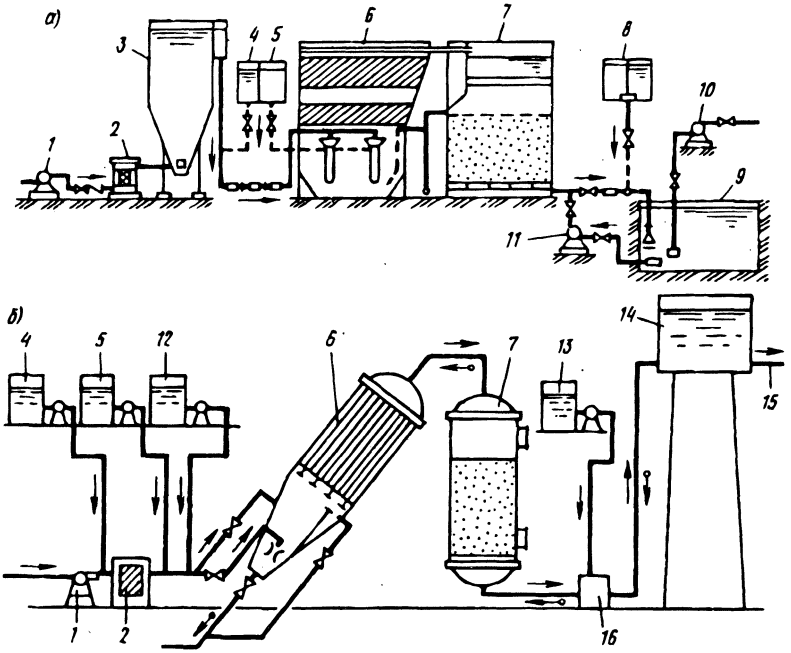


Рис. 5.33. Схемы установок заводской готовности «Влага» (*а*) и «Струя» (*б*):

1, 10 — насосы подачи исходной и обработанной воды; *2, 7* — сетчатый и зернистый скорый фильтры; *3* — вертикальный смеситель-деаэратор; *4, 5* — баки коагулянта и флокулянта; *6* — тонкослойный отстойник, совмещенный с конвективной камерой хлопьеобразования; *8* — аппарат обеззараживания воды; *9* — резервуар чистой воды; *11* — насос подачи промывной воды; *12* — бак известкового раствора; *13* — бак раствора поваренной соли; *14* — водонапорная башня; *15* — отвод воды потребителю; *16* — аппарат «Поток» для получения гипохлорита натрия

Напорная фильтровальная установка «Деферрит» обеспечивает очистку воды от железа (при его исходной концентрации до 15 мг/л), марганца (до 0,5 мг/л), железобактерий и растворенных газов. Производительность установки от 100 до 1600 (возможно до 8000) м^3/сут.

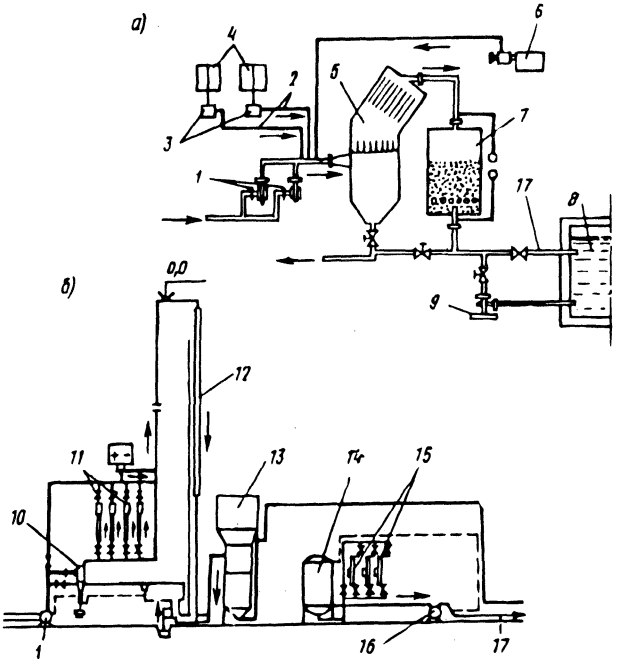


Рис. 5.34. Схема установки АзНИИ ВП «Струя» (*а*) и ВНИИГиМ (*б*): *1* — насос I подъема; *2* — подача реагентов; *3* — насос-дозатор; *4* — реагентное хозяйство; *5* — тонкослойный отстойник; *6* — электролизер для обеззараживания воды; *7* — напорный скорый фильтр; *8* — резервуар чистой воды; *9* — промывной насос; *10* — гидроциклон; *11* — электрокоагулятор; *12* — воздухоохладитель; *13* — самопромывающийся скорый фильтр; *14* — пневматический бак; *15* — бактерицидная установка; *16* — электронасос; *17* — отвод обработанной воды

Безнапорные установки типа «Влага» (рис. 5.33, *а*) технологически аналогичны установкам «Струя» (рис. 5.33, *б*), но имеют большую производительность: 1,6; 3,2; 5,0; 8,0 тыс. м^3/сут. Они могут быть использованы не только для осветления, обесцвечивания, дезодорации и обеззараживания воды, но и для обезжелезивания, дефторирования и умягчения. Установки «Влага» применимы при мутности исходной воды до 1,5 г/л; цветности до 300 град; содержании железа до 40 мг/л, серово-

дорода до 20 мг/л; окисляемости до 30 мг O_2/л; pH не ниже 5,8; содержании свободного диоксида углерода до 150 мг/л, фтора до 5 мг/л, общей жесткости до 15 мг-экв/л, карбонатной жесткости до 8 мг-экв/л.

Напорная установка «Струя» НИИ КВОВ выпускается производительностью 100, 200, 400 и 800 $м^3$/сут для вод мутностью до 5 г/л (а с водозабором осветлителем «Плот» — до 15 г/л), любой цветности; с содержанием фтора до 5 мг/л; железа общего до 50 мг/л и общей жесткостью до 20 мг-экв/л.

Технологические схемы обеих установок включают сетчатые фильтры, тонкослойные отстойники, совмещенные с камерами хлопьеобразования гидравлического типа, скорые зернистые фильтры, аппараты обеззараживания воды, надлежащее реагентное хозяйство и насосные установки.

Напорная установка АзНИИ ВП «Струя» (рис. 5.34, *а*) может применяться как в реагентных, так и безреагентных схемах. В ней применены новая конструкция камеры хлопьеобразования зашламленного типа и скорый фильтр с более активной фильтрующей загрузкой из клиноптилолита.

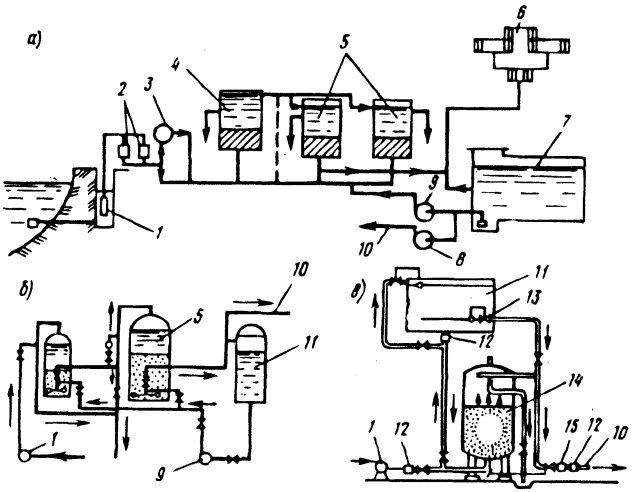


Рис. 5.35. Схема водоочистной установки БВУ-1 (*а*), ОИСИ (*б*), БНФ-НИМИ-3 (*в*):

1, 8 — насосы I и II подъема; *2* — защитные сетки; *3* — блок гидроциклонов; *4* — префильтр; *5* — скорые фильтры; *6* — установка для обеззараживания воды; *7* — резервуар чистой воды; *9* — промывной насос; *10* — отвод обработанной воды; *11* — бак промывной воды; *12* — клапаны обратные подъемные; *13* — запорные поплавковые клапаны; *14* — фильтр БНФ-НИМИ-3; *15* — регулятор скорости фильтрования

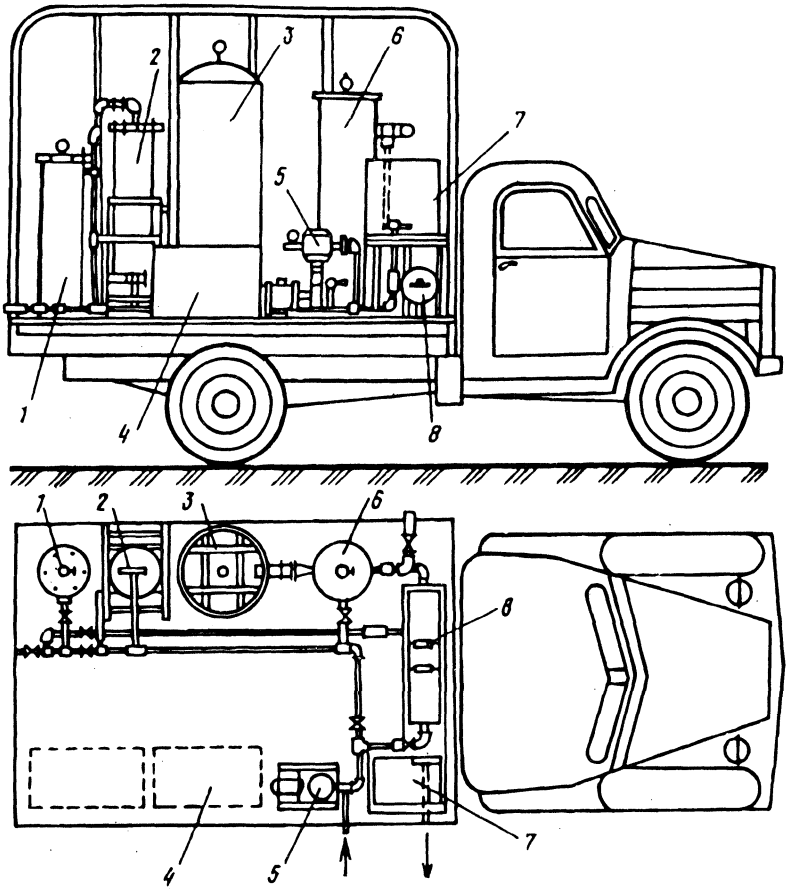


Рис.5.36. Передвижная водоочистная установка ВНИИГиМ производительностью 0,5 м³/ч:

1, 2, 6 — угольный, ионитовый и осветлительный фильтры; *3* — водовоздушный резервуар; *4* — электростанция «Киев-2»; *5* — вихревой насос ВСН-1; *7* — электрокоагулятор; *8* — бактерицидная установка ОВ-III

В напорной реагентной установке ВНИИГиМ (рис. 5.34, *б*) использованы электрокоагуляторы проточного типа и самопромывающийся скорый фильтр с антрацитовой загрузкой. В качестве предочистки применен гидроциклон, а обеззараживание воды достигается на бактерицидной установке ОВ-1п.

Напорные безреагентные установки БВУ-1, ОИСИ и БНФ-НИМИ-3 (рис. 5.35, *а–в*) основаны на использовании двухсту-

пенчатого фильтрования на аппаратах с зернистой загрузкой разной крупности. При необходимости в качестве предочистки предусматривают сетчатые фильтры или гидроциклоны.

Особого внимания заслуживает напорная передвижная установка ВНИИГиМ с собственной электростанцией «Киев-2» (рис. 5.36) производительностью 0,5 м^3/ч. Универсальная технологическая схема установки предусматривает не только осветление, обесцвечивание, обеззараживание воды, но и ее дезодорацию и опреснение. Подобные агрегаты получили распространение в водоснабжении животноводческих комплексов, на отгонных пастбищах и пр.

5.20. Проектирование станций водоподготовки

5.20.1. Основы выбора технологических схем, отдельных сооружений, входящих в них, и реагентов

Полный расход воды, поступающей на комплекс водоподготовки $Q_п$, определяют с учетом расхода воды на его собственные нужды (приготовление пульпы, растворов и суспензий реагентов, продувка осветлителей или отстойников, удаление пены из флотаторов, промывка фильтровальных сооружений и резервуаров фильтрованной воды и др.) и дополнительного расхода воды на восполнение противопожарного запаса $Q_{доп}$. Следовательно, полный расход воды, поступающей на водоочистной комплекс, будет равен:

$$Q_п = \alpha \cdot Q_{макс.сут} + Q_{доп},$$

где α — коэффициент, с помощью которого определяют расход воды на собственные нужды комплекса (для комплексов осветления и обесцвечивания, обезжелезивания, сорбционного обесфторивания при обороте промывной воды — 1,03–1,04; без повторного использования — 1,1–1,14; для установок умягчения воды — 1,2–1,3).

Дополнительный расход воды на восполнение противопожарного запаса

$$Q = 3{,}6 \cdot n \cdot q_{пож} \cdot T_{пож} \cdot 24/T_{вос} \text{ (м}^3\text{/сут)},$$

где n — число одновременных пожаров; $q_{пож}$ — норма расхода воды при пожаре по указанным СНиП, л/с; $T_{пож} = 3$ — расчетная продолжительность пожара, ч; $T_{вос}$ — период восстановле-

ния пожарного запаса, ч (для городов и предприятий категорий А, Б, В — 24 ч, для предприятий категорий Г, Д — 36 ч, для сельских населенных пунктов — 72 ч).

Водоочистные комплексы должны быть рассчитаны на равномерную работу в течение суток максимального водопотребления, при этом следует предусмотреть необходимость отключения отдельных сооружений на текущий ремонт, осмотр и т. п.

При проектировании водоочистных комплексов их коммуникации необходимо рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 30 % больше расчетного, руководствуясь соображениями интенсификации или реконструкции водоочистных сооружений.

Состав водоочистных сооружений зависит от качества воды в источнике водоснабжения, требований, предъявляемых к обработанной воде, которые обусловлены регламентами потребителя, и от производительности установки. При подготовке воды питьевого качества состав водоочистных сооружений назначается по СНиП 2.04.02-84*. Дополнительно требуется включение в технологическую схему микрофильтров, если «цветение» воды длится более 1 мес в году и если среднемесячное содержание планктона более 1000 клеток в 1 $м^3$ воды.

При выборе технологической схемы также учитываются опыт эксплуатации станций в аналогичных условиях и результаты предварительных технологических исследований.

Как показала практика, классические технологические схемы с отстойниками и осветлителями со слоем взвешенного осадка дают хорошие результаты в основном при очистке речных вод, в которых содержатся тяжелые грубодисперсные примеси. При очистке вод озер и водохранилищ, а также рек с малой скоростью течения воды, при очистке низкотемпературных вод более высокий эффект можно получить применением флотации и двухступенчатого фильтрования. С повышением цветности воды и общего содержания органических веществ растет роль реагентной обработки воды. Высокоэффективными, а часто и неизбежными могут стать методы окисления озоном, хлором, сорбционная и биосорбционная технология.

Для снижения окисляемости вместо хлора во избежание образования хлорорганических соединений на предочистке могут использоваться биореакторы.

Рассмотренные ранее технологические схемы (см. разд. 5.2) составлены исходя из оптимальных режимов эксплуатации от-

дельных водоочистных сооружений и с учетом технико-экономических показателей их работы. Так, сооружения предварительной обработки воды (отстойники, осветлители со взвешенным осадком, флотаторы и др.) должны осветлять воду до содержания взвесей 3–12 мг/л и снижать ее цветность до 25–30 град. При этом минимальная продолжительность работы вертикального отстойника должна быть не менее 6 ч, горизонтального — 12–24 ч, осветлителей со взвешенным осадком — 3–12 ч между выпусками осадка.

Если мутность обрабатываемой воды больше 1,5 г/л, то необходимо предусматривать сооружения предварительного безреагентного осветления, выбор которых обусловлен характером взвеси и производительностью водоочистного комплекса. Обычно для этой цели используют горизонтальные или радиальные отстойники, гидроциклоны и водозаборы-осветлители.

После того как намечена технологическая схема очистки воды, делается выбор конструкций отдельных технологических сооружений, что является сложной и ответственной задачей. Например, при проектировании установок с осветлителями со взвешенным осадком или с контактными осветлителями предпочтение следует отдавать вертикальным смесителям, которые обеспечивают не только требуемое смешение реагентов с водой, но и воздухоудаление, что необходимо для надежной работы указанных аппаратов. Следует предусматривать рассредоточенный ввод реагентов.

При удалении из воды планктона следует предусматривать микрофильтры, или принимать технологию с флотаторами, или на первой ступени фильтровать воду через плавающую полимерную загрузку.

В случае дезодорации воды с использованием угольной пульпы или сильного окислителя в начале технологического тракта следует принимать в качестве входного устройства контактный резервуар, а при длительном периоде дезодорации — угольные фильтры, располагаемые после осветлительных.

При коагулировании примесей воды в условиях низких температур, а также при ее реагентном умягчении следует использовать соли железа. Для обесцвечивания воды рекомендуются в качестве коагулянта соли алюминия (или их смесь с солями железа), озон и активированная кремниевая кислота.

5.20.2. Высотная схема и планировка водоочистных сооружений

Высотное расположение очистных сооружений должно обеспечивать самотечное движение воды от наивысшей точки технологической схемы до резервуара чистой воды.

Наивысшей точкой обычно является максимальный уровень воды в микрофильтрах или в смесителях. Отметки уровня воды в сооружениях рассчитывают исходя из потерь напора в сооружениях и в коммуникациях при максимальной производительности станции. Ориентировочные потери напора в сооружениях и коммуникациях приведены в СНиП. За нулевую отметку принимают максимальный уровень воды в резервуаре чистой воды, которая должна быть на 0,25–0,5 м выше поверхности земли. Далее путем последовательного суммирования потерь напора определяют отметки уровней воды в остальных сооружениях (рис. 5.37).

На высотной схеме водоочистного комплекса помимо основных технологических сооружений должны быть показаны реагентное хозяйство, сооружения по обороту промывной воды и обработки осадка, отметки оси промывных насосов или днища бака промывной башни, отметки вакуум-насосов, насосов-дозаторов, кислотных насосов, воздуходувок.

Необходимо определить высоту отдельных сооружений и отметки их дна по отношению к поверхности земли. При привязке очистных сооружений и проектировании высотной схемы учитывают рельеф площадки очистных сооружений, глубину залегания грунтовых вод, максимальный уровень воды в водоеме в период паводка, возможность самотечного отвода сточных вод и осадков с очистных сооружений, условия производства строительно-монтажных работ и их объем, условия работы насосов насосной станции II подъема. Отметки днищ водоочистных сооружений должны назначаться с соблюдением условия минимального объема земляных и бетонных работ и наиболее благоприятных условий производства работ.

Для определения размеров поперечного сечения коммуникаций исходят из следующих скоростей течения воды, м/с: от насосной станции (НС) I подъема к смесителю — 1,0–1,2; от смесителя к камере хлопьеобразования или осветлителю — 0,6–1,0; от отстойников или осветлителей со взвешенным осадком к фильтрам — 0,8–1,2; от фильтровальных аппаратов к резерву-

арам чистой воды — 1,2–1,5; в трубопроводах подачи и отвода промывной воды — 1,5–2,0.

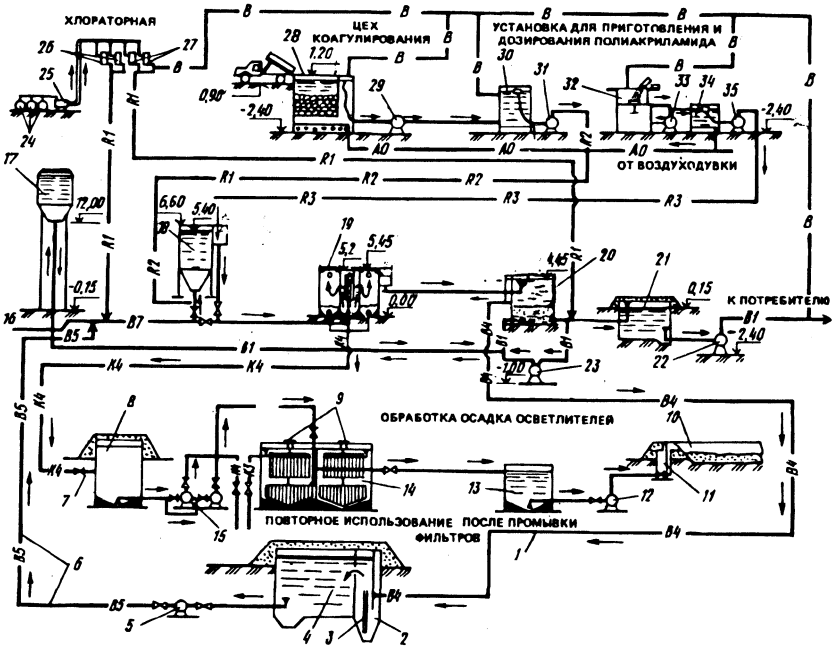


Рис. 5.37. Высотно-технологическая схема водоочистного комплекса: *1* — подача промывной воды от фильтров; *2* — песколовка; *3* — гидроэлеватор; *4* — резервуар-усреднитель промывной воды; *5* — насос перекачки промывной воды; *6* — возврат промывной воды на очистные сооружения; *7* — подача осадка от осветлителей; *8* — резервуар приема осадка; *9* — установка медленного перемешивания осадка; *10* — площадка обезвоживания осадка; *11* — колодец для напуска осадка; *12* — насос перекачки сгущенного осадка; *13* — емкость сгущенного осадка; *14* — осадкоуплотнитель; *15* — насосы перекачки сырого осадка; *16* — подача исходной воды; *17* — башня промывной воды; *18* — вихревой смеситель; *19* — осветлитель со взвешенным осадком; *20* — скорый фильтр; *21* — резервуар чистой воды; *22* — насос II подъема; *23* — насос подкачки промывной воды; *24* — бочки с хлором; *25* — испаритель; *26, 27* — хлораторы первичного и вторичного хлорирования; *28* — растворно-хранилищный бак коагулянта; *29* — насос перекачки раствора коагулянта; *30* — расходный бак коагулянта; *31* — насос-дозатор раствора коагулянта; *32* — мешалка полиакриламида ПАА; *33* — насос для циркуляции и подачи ПАА в расходный бак; *34* — растворный бак раствора ПАА; *35* — насос-дозатор раствора ПАА

Место строительства станции должно обеспечить компактное расположение всех зданий и сооружений, минимальную длину коммуникаций и удобство эксплуатации. Необходимо зарезервировать запасные площади для расширения станции, вокруг станции должна быть возможность создания зон санитарной охраны.

Основополагающими при решении генплана водоочистного комплекса помимо географических, топографических и геологических условий являются его производительность и состав водоочистных сооружений.

На генплане обозначают все строения и сооружения, наружные коммуникации, дороги, озеленение и ограждение (рис. 5.38). По возможности все очистные сооружения, производственные и вспомогательные помещения, реагентное хозяйство целесообразно сконцентрировать под единой крышей или группировать в нескольких близко расположенных зданиях.

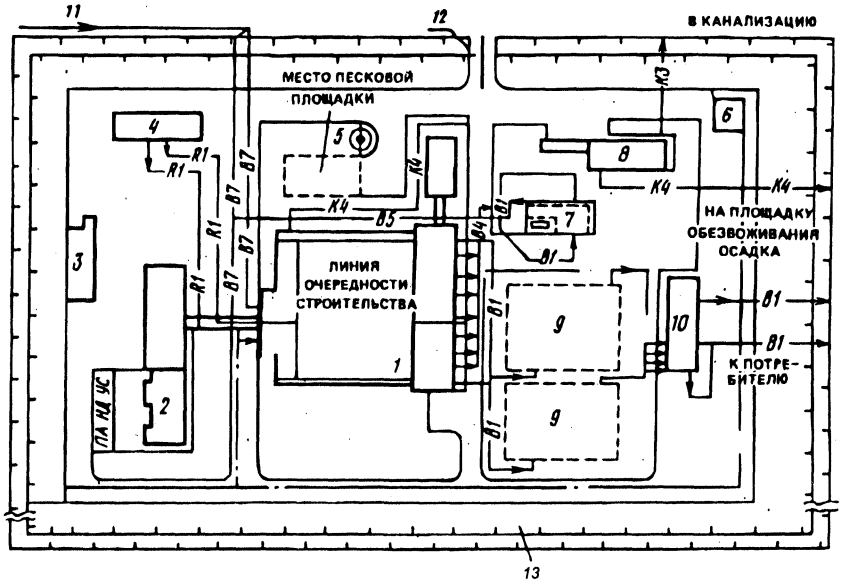


Рис. 5.38. Генеральный план водоочистного комплекса:
1 — блок основных сооружений; *2* — реагентное хозяйство; *3* — котельная; *4* — служебный корпус; 5 — башня промывной воды; *6* — хлораторная; *7* — сооружения оборота промывной воды; *8* — сооружения обработки осадка; *9* — резервуар чистой воды; *10* — насосная станция II подъема; *11* — водоводы от НС I подъема; *12* — проходная; *13* — резервная территория на расширение комплекса

Расположение всех сооружений и помещений в одном здании возможно, как правило, только при небольшой производительности станции.

Расходные склады хлора и аммиака, а также кислот проектируются согласно «Санитарным правилам проектирования оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих ядовитых веществ».

Склады хлора и аммиака располагаются в отдельных зданиях. Расстояние от них до водоисточника и производственных помещений с постоянным пребыванием людей должно быть не менее 30 м.

Хлораторную, совмещенную со складом хлора, размещают в наиболее низкой части территории водоочистного комплекса.

Склады других реагентов должны располагаться вплотную к реагентному цеху, где находятся аппараты для приготовления их растворов и суспензий.

В соответствии с видом реагента и производительностью комплекса предусматривают его сухое или мокрое хранение в виде концентрированных растворов или продуктов, залитых водой. Хранение реагентов в сухом виде осуществляют в закрытых складах навалом или в таре.

Фторсодержащие реагенты и полиакриламид хранят в таре. На крупных водоочистных комплексах раствор коагулянта концентрацией 15–20 % хранят в баках-хранилищах без перемешивания.

К помещению для хранения активного угля предъявляют требования пожарной безопасности, относя реагент к категории В.

На крупных водоочистных комплексах предусматривают песковое хозяйство для хранения, сортировки, промывки и транспортирования материалов, необходимых для периодической догрузки и перегрузки фильтровальных аппаратов.

На станции должен быть аварийный запас песка из расчета 10 % ежегодного пополнения фильтрующей загрузки и запас на перегрузку одного фильтра при общем их количестве до 20. Загрузку фильтрующим материалом следует производить с помощью песковых или водоструйных насосов при скорости движения пульпы 1,2–2 м/с.

При благоприятных климатических условиях часть сооружений (отстойники, осветлители со взвешенным осадком, камеры хлопьеобразования, контактные бассейны хлора) целесообразно устанавливать вне здания. Образующийся ледяной покров не должен препятствовать нормальной эксплуатации сооружений. Для этого сооружения покрывают железобетонными плитами и утепляют слоем земли.

Надежность работы водоочистного комплекса обеспечивается дублированием отдельных технологических сооружений и устройством обводных линий, позволяющих отключать то или иное сооружение или блок, пропуская воду в обход. При этом для водоочистных комплексов с подачей до 10 тыс. $м^3$/сут возможно отключение половины технологических сооружений, а для комплексов большей мощности — до четверти. Кроме того, необходимо предусматривать обводную линию от НС I подъема непосредственно в резервуары чистой воды.

При проектировании генерального плана водоочистного комплекса необходимо предусматривать минимальную протяженность путей перемещения реагентов; максимально возможную механизацию погрузочно-разгрузочных работ и смены загрузки фильтровальных аппаратов; маневренность эксплуатации как отдельных технологических сооружений, так и целых блоков.

При решении компоновки блока основных сооружений преследуют цель логической последовательности передачи воды от сооружения к сооружению при минимальной протяженности коммуникаций.

Использование технологии обработки воды в осветлителях со слоем взвешенного осадка на водоочистных комплексах производительностью до 50 тыс. $м^3$/сут позволяет разместить в одном здании все основные технологические сооружения, реагентное хозяйство, входные устройства (вариант) и НС II подъема (рис. 5.39).

При этом смесители, осветлители и фильтры выделены в отдельный зал. При большой производительности водоочистного комплекса служебные помещения выносят в отдельное здание, входные устройства стыкуют с основными сооружениями или размещают в отдельно стоящем здании реагентного хозяйства. Для удобства эксплуатации служебный корпус и реагентный цех проходными галереями соединяют с блоком основных сооружений.

При решении компоновки водоочистных комплексов по одноступенчатой схеме с контактными осветлителями при производительности до 50 тыс. $м^3$/сут входные устройства (микрофильтры, контактные камеры) размещают в отдельном здании, а реагентное хозяйство стыкуют с основными сооружениями либо входные устройства сочетают с реагентным хозяйством и располагают в отдельном блоке. В обоих случаях НС II подъема размещают в блоке основных сооружений.

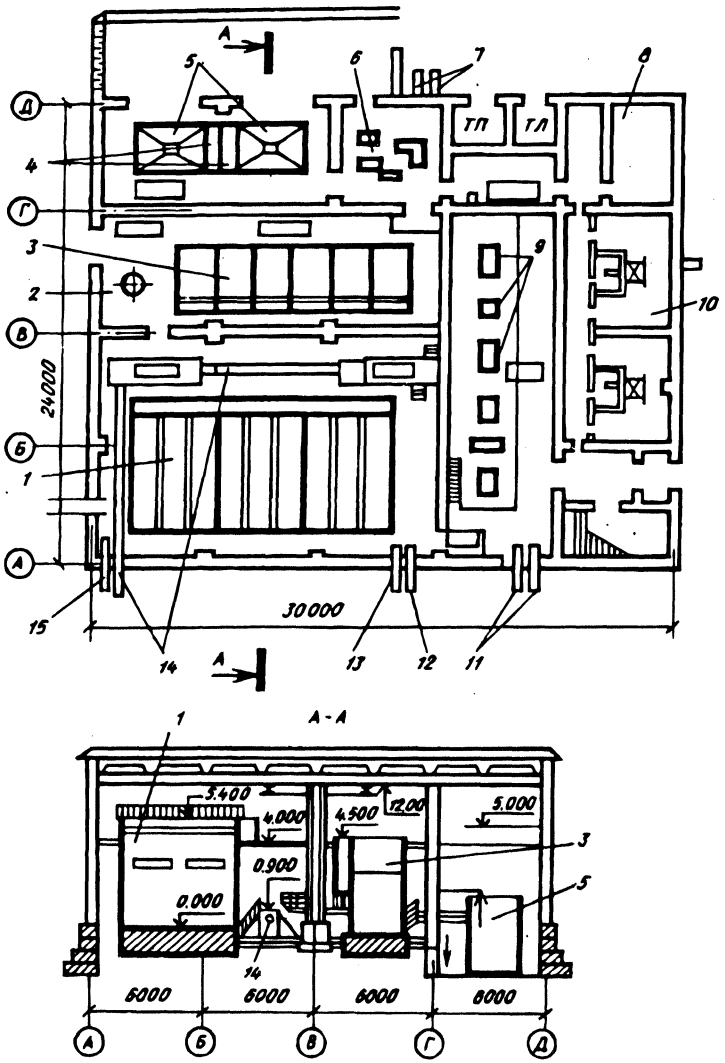


Рис. 5.39. Пример компоновки водоочистных сооружений:
1 — осветлители со взвешенным осадком; *2* — смесители; *3* — скорые фильтры; *4* — расходные баки коагулянта; *5* — растворные баки-хранилища коагулянта; *6* — насосы-дозаторы и воздуходувки; *7* — подача чистой воды потребителю; *8* — мастерские; *9* — насосная станция II подъема; *10* — бытовые помещения; *11* — всасывающие трубопроводы из резервуаров чистой воды; *12* — отвод чистой воды в резервуары; *13* — сброс осадка из осветлителей; *14* — сброс промывной воды от фильтров; *15* — подача исходной воды

В том случае, когда подача водоочистного комплекса составляет 50 тыс. $м^3$/сут и более, входные устройства размещают по оси здания основных сооружений, а для реагентного хозяйства, служебных помещений и НС II подъема предусматривают отдельные здания.

Контактные осветлители, как правило, располагают в два ряда и устраивают остекленные перегородки, отделяющие зеркало воды в них от остальных помещений.

5.20.3. Идеология развития водоснабжения в XXI веке
(на примере Московского водопровода)

Новое тысячелетие требует определения государственной политики в водном хозяйстве страны. Об этом шла речь и на международном саммите, который проходил в 2002 г. в Иоханнесбурге и был организован Всемирным советом по воде. В итоговом документе саммита было отмечено, что первоочередной задачей каждого государства в XXI в. является определение национальной политики в водном хозяйстве и водоснабжении.

Для Москвы и Московской области основные направления концепции развития водопровода отражены в Генеральной схеме водоснабжения Москвы, разработанной в соответствии с Генеральным планом и Основными направлениями градостроительного развития города и области на период до 2010 г. Перспективы развития водохозяйственного баланса, вопросы развития водоисточников, организация централизованных систем водоснабжения решены в Генеральной схеме комплексно с учетом интересов обоих субъектов Федерации. Суть новой идеологии в том, что старая концепция непрерывного наращивания мощностей водопроводных сооружений заменена концепцией экономии и рационального использования водных ресурсов, создания независимого источника водоснабжения на базе подземных вод, внедрения современных технологий водоподготовки и повышения уровня надежности всей системы. Все это необходимо для обеспечения высокого качества питьевой воды, что является залогом здоровья нации.

Бесспорно, в успешной работе Московского водопровода, в стабильной эксплуатации, наращивании мощностей и освоении новых технологий большая заслуга руководителя — генерального директора Мосводоканала Станислава Владимировича Храменкова, который возглавляет его более двух десятилетий.

В этот период ежегодно проводятся международные конференции по основным проблемам водоснабжения и канализации, по новым эффективным технологиям. Обмен опытом с их участниками — коллегами из Франции, Германии, Канады, США, Нидерландов и других стран — позволяет быть в курсе всего нового, что появляется в отрасли, не отставать от требований времени.

Для сокращения непроизводительных расходов воды в системах водоснабжения предлагается комплекс мероприятий, в их числе:

- введение систем оборотного водоснабжения на водопроводных станциях;
- модернизация городской водопроводной сети, улучшающая гидравлические параметры ее работы.

Обследование систем водоснабжения в жилищном фонде позволило определить причины повышенного расхода водных ресурсов:

- завышенное давление в сетях, прежде всего на вводах в жилые дома;
- несоблюдение температурного режима в системе горячего водоснабжения;
- утечки в изношенных сетях и прохудившихся трубопроводах, а также в сантехнических устройствах жилых домов;
- неучтенные водопотребители из-за огромной миграции и большого числа проживающих в городах без прописки и регистрации.

Учитывая важность сокращения непроизводительных потерь воды, разработан комплекс водосберегающих мероприятий в жилфонде:

- реконструкция и наладка систем холодного и горячего водоснабжения в жилых домах;
- установка преобразователей частоты на насосах холодного и горячего водоснабжения;
- установка современной сантехнической арматуры в квартирах;
- установка водосчетчиков на каждом вводе в жилые дома.

Реализация этих мер, например в Москве, позволила с 1998 по 2003 г. сократить в муниципальном жилфонде на 40 л суточный расход воды на человека.

Создание независимого, защищенного от антропогенного воздействия источника водоснабжения на базе подземных вод позволит комплексно решать вопросы повышения надежнос-

ти системы водоснабжения и улучшения качества питьевой воды.

В Москве существующая система водоснабжения базируется на двух поверхностных источниках — реках Волга и Москва и их притоках. Водоподготовку выполняют 4 водопроводные станции. В дополнение к этому, учитывая сказанное, по заказу правительства Москвы и Московской области разработано технико-экономическое обоснование Южной системы водоснабжения на базе подземных вод московского артезианского бассейна. В настоящее время оно прошло экологическую и государственную экспертизы и утверждено приказом Госстроя России.

Урбанистические нагрузки на поверхностные источники все более увеличиваются по мере роста населения городов и застройки берегов рек коттеджами без инженерного обустройства территорий.

Загрязнение поверхностных источников требует все более эффективных средств и методов водоочистки. Естественно, ведется поиск новых технологических процессов, улучшающих качество питьевой воды.

В целях совершенствования классической технологии водоподготовки (реагентная обработка воды, отстаивание, фильтрование) на водопроводных станциях внедряются принципиально новые методы обработки воды — это прежде всего озонирование, озоносорбция, мембранное фильтрование и др. Осваиваются более эффективные технологии, например водовоздушная промывка фильтров. Активно внедряются новые реагенты, позволяющие оптимизировать процесс очистки в зависимости от состава загрязнений исходной воды: полимерный флокулянт для улучшения процесса коагулирования; оксихлорид алюминия, который более эффективен, чем обычно применяемый сульфат алюминия, особенно в зимнее время. Постоянно проводятся лабораторные и пилотные эксперименты по оценке возможности применения того или иного реагента или материала: двуокиси хлора, нескольких десятков коагулирующих реагентов, порошкообразных углей и т.д.

28 октября 2004 г. исполнилось 200 лет Московскому водопроводу. Значимым событием в юбилейном году было начало строительства крупного уникального объекта — Юго-Западной водопроводной станции (ЮЗВС). Новая станция нужна не для увеличения мощностей подачи воды, а для освоения самых современных технологий водоочистки и реализации проекта реконструкции соседней, Западной водопро-

водной станции, а в дальнейшем — и всех действующих станций Московского водопровода (Рублевской, Восточной и Северной).

Учитывая социальную значимость проекта и трудности с бюджетным финансированием, правительство РФ приняло решение о строительстве ЮЗВС с привлечением иностранных инвестиций. Технологическая схема очистки воды на строящейся станции кроме традиционных стадий осветления и обеззараживания будет включать озоносорбцию и мембранное фильтрование, что исключит попадание в питьевую воду токсичных органических соединений и обеспечит ее полную дезодорацию. Никакие природные аномалии не будут влиять на качество полученной чистой и вкусной питьевой воды.

Решая главную задачу, необходимо помнить об экологических аспектах. Жидкий хлор, поставляемый на водопроводные станции, — источник постоянной опасности. Замена его на газообразный хлор, концентрация которого в 400 раз меньше, или на гипохлорит натрия позволит снизить во много раз опасность транспортировки хлора. Также с целью увеличения безопасности работы вместо аммиака используется его водный раствор — аммиачная вода.

Остается наиважнейшим делом дальнейшая автоматизация в системах водоснабжения. Автоматизируются водовоздушная промывка фильтров, дозирование хлора, аммиака, коагулянтов и других реагентов, работа насосной станции II подъема, а также вся система информации по технологическим вопросам. Чтобы проиллюстрировать эффект автоматизации, приведем один пример: автоматизация дозирования коагулянта на Северной водопроводной станции Москвы сберегает 5 % ценного реагента. За год это миллионы рублей!

Прежде достаточно трудоемкой операцией была промывка фильтров. Теперь фильтр-операторы определяют состояние фильтра и загрузочного материала по приборам и принимают соответствующие технологические решения.

Одним из важнейших элементов системы водоснабжения города, выполняющих функцию подачи и распределения воды, являются водопроводные сети. Без них вода не придет в наши квартиры. Это, по сути, — кровеносные сосуды системы водоснабжения, их значение трудно переоценить. Учитывая, что в России износ коммунальных сетей составляет 50–60 %, следует сказать, что сети — самое узкое и уязвимое место всей системы водоснабжения.

Например, Московский водопровод насчитывает более 10 тыс. км трубопроводов, бóльшую их часть — 71 % составляют стальные трубы, 27 % — чугунные, на остальные — железобетонные, полиэтиленовые, поливинилхлоридные — приходится лишь 2 %. Средний срок службы стальных труб — 33–35 лет, чугунных — 71 год. Более половины всех трубопроводов отслужили амортизационный срок. Конечно, при таком износе аварии неизбежны. Повышению долговечности и снижению аварийности сетей водоснабжения способствуют:

- применение труб из коррозионно-стойких материалов;
- использование новых конструкций запорно-регулирующей арматуры;
- создание математической модели управления системой водоснабжения.

Необходимо обеспечить не только надежность функционирования водопроводной сети, но и не допустить вторичного загрязнения воды, а это требует постоянного контроля внутреннего состояния трубопроводов. Концепция модернизации водопроводной сети предусматривает большой комплекс мер:

- применение труб из высокопрочного чугуна с эффективной внутренней и наружной изоляцией;
- снижение избыточных напоров в распределительной сети;
- обеспечение необходимого водовоздушного режима работы водопроводной сети;
- внедрение новых технологий и оборудования для безаварийного водоснабжения;
- применение перспективных технологий восстановления водопроводных сетей и магистралей;
- использование информационных технологий.

С учетом достижений научно-технического прогресса предлагается использовать трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в кристаллической решетке (ВЧШГ). Эти трубы отвечают международным стандартам качества, соединяя в себе коррозионную стойкость чугуна с механическими свойствами стали.

Надежность системы водоснабжения повышают также с помощью сетевых регуляторов давления, которые стабилизируют давление в зонах с низкими геодезическими отметками земли.

Ряд проблем в эксплуатации трубопроводов создает скопление в повышенных точках нерастворенного воздуха (до 4 %),

содержащегося в питьевой воде. Негативное воздействие этого явления сводится к следующему:

- существенно увеличивается гидравлическое сопротивление в трубопроводах, что приводит к дополнительным затратам электроэнергии при подаче воды потребителю;
- создается потенциальная опасность возникновения гидравлического удара;
- ускоряется процесс коррозии внутренней поверхности трубопроводов и оборудования.

В связи с этим особую важность приобретает обеспечение оптимального водовоздушного режима в водопроводной сети, что создается с помощью вантузов рычажного типа. Их использование снижает потери напора в сетях и дает значительную экономию электроэнергии.

Применение новых методов проведения аварийно-восстановительных и профилактических работ на сетях позволяет существенно сократить трудозатраты. В частности, этому способствуют установка серийно выпускаемых муфт ПФРК (патрубок — фланец — раструб компенсаторный) и ДРК (двойной раструб компенсаторный), ремонт раструбных соединений с помощью стандартных ремкомплектов, а также восстановление герметичности раструбных соединений методом бандажирования и др.

Внутренняя коррозия и обрастание отложениями стенок стальных и чугунных трубопроводов снижают их пропускную способность, нарушая режим подачи и ухудшая качество воды, при этом существенно возрастают удельные затраты электроэнергии на ее транспортирование и подачу потребителям.

Существуют оригинальные технологии бестраншейного ремонта трубопроводов, нашедшие широкое распространение как у нас в стране, так и за рубежом. Они являются альтернативой традиционным раскопкам, которые сопровождаются вскрытием дорожного полотна, что многократно увеличивает трудоемкость, а также стоимость работ и сроки ликвидации повреждений.

Нанесение цементно-песчаных покрытий, использование полимерных рукавов, протаскивание в ремонтный трубопровод труб меньшего диаметра — эти методы восстановления внутренней поверхности трубопроводов (санацию) применяют все шире.

В последние годы при нарушении герметичности раструбных соединений используется метод бандажирования. Перечисленные методы позволяют восстановить утратившие работоспо-

собность трубопроводы, обеспечить им стабильную (на 50 лет и более) пропускную способность при сохранении высокого качества транспортируемой воды.

Современные технологии модернизации водопроводной сети существенно снизили число повреждений и аварий на трубопроводах.

Активное внедрение информационных технологий в практику эксплуатации водопроводных сетей также способствует повышению надежности их работы. Диагностическое обследование трубопроводов позволяет объективно оценить состояние водопроводной сети, а формирование базы данных способствует выяснению причин и характера аварий, а также дестабилизирующих факторов.

Следует учитывать, что повреждения трубопроводов имеют как вероятностный, так и прогнозируемый характер, в связи с чем проводимые работы могут быть двух типов:

- аварийно-восстановительные (при вероятностном характере);
- планово-предупредительные (при прогнозируемом).

Улучшение качества профилактических работ и переориентация эксплуатационных служб с аварийно-восстановительного режима на режим профилактического обслуживания — также необходимое условие снижения аварийности на сетях. Для реализации этой задачи требуется создать базу данных по инвентаризации с заключениями инспекторов технического надзора, а также по профилактическим и аварийно-восстановительным работам. База данных служит для определения регламента работ.

В перспективе при корреляции информационных баз данных по эксплуатации трубопроводов появится возможность долгосрочного планирования развития и реконструкции системы подачи и распределения воды.

В заключение отметим, что развитие и дальнейшее совершенствование системы водоснабжения — гарантия качественной питьевой воды, которая является составляющей здоровья и долголетия наших соотечественников.

Список литературы

1. *Абрамов Н.Н.* Водоснабжение. — М.: Стройиздат, 1982.
2. *Абрамов Н.Н., Поспелова М.М., Сомов М.А.* Расчет водопроводных сетей. — М.: Стройиздат, 1983. — 304 с.
3. *Белан А.Е.* Технология водоснабжения. — Киев: Наукова думка, 1985.
4. *Журба М.Г.* Пенополистирольные фильтры. — М.: Стройиздат, 1992.
5. *Журба М.Г., Нечаев А.П., Ивлева Г.А.* и др. Классификаторы технологий очистки природных вод. — М.: ГП «Союзводоканалпроект», 2000. — 118 с.
6. *Иванов Е.Н.* Противопожарное водоснабжение. — М.: Стройиздат, 1987. — 297 с.
7. *Ильин Ю.А.* Расчет надежности подачи воды. — М.: Стройиздат, 1987. — 316 с.
8. *Карамбиров Н.Н.* Сельскохозяйственное водоснабжение. — М.: Агропромиздат, 1986. — 351 с.
9. *Кедров В.С., Исаев В.Н., Орлов В.А.* и др. Водоснабжение и водоотведение. — М.: Стройиздат, 2002. — 336 с.
10. *Кульский Л.А., Строкач П.П.* Технология очистки природных вод. — Киев: Вища школа, 1986. — 352 с.
11. *Ливчак И.Ф., Воронов Ю.В.* Охрана окружающей среды. — М.: Стройиздат, 1988.
12. *Москвитин Б.А., Мирончик Г.М., Москвитин А.С.* Оборудование водопроводных и канализационных сооружений. — М.: Стройиздат, 1984.
13. *Николадзе Г.И.* Улучшение качества подземных вод. — М.: Стройиздат, 1987.
14. *Николадзе Г.И.* Технология очистки природных вод. — М.: Высшая школа, 1987.
15. *Николадзе Г.И., Сомов М.А.* Водоснабжение. — М.: Стройиздат, 1995. — 688 с.
16. *Образовский А.С., Ереснов Н.В., Ереснов В.Н.* Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. — М.: Стройиздат, 1976. — 268 с.
17. *Пааль Л.Л., Кару Я.Я.* и др. Справочник по очистке природных и сточных вод. — М.: Высшая школа, 1994.
18. *Порядин А.Ф.* Устройство и эксплуатация водозаборов. — М.: Стройиздат, 1984.

19. *Пособие по проектированию* сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84). — М.: НИИ КВОВ, 1989.
20. *Прозоров И.В., Николадзе Г.И., Минаев А.В.* Гидравлика, водоснабжение и канализация. — М.: Высшая школа, 1990.
21. *СанПиН 2222.1.4.559-96.* Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. — М.: Информ.-издат. центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. — 111 с.
22. *Смагин В.Н., Небольсина К.А., Беляков В.М.* Курсовое и дипломное проектирование по сельскохозяйственному водоснабжению. — М.: Агропромиздат, 1990. — 336 с.
23. *СНиП 2.04.02-84*.* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. — М.: Стройиздат, 1986. — 120 с.
24. *Сомов М.А.* Водопроводные системы и сооружения. — М.: Стройиздат, 1988.
25. *Тажибаев Л.Е., Усенко В.С., Николадзе Г.И.* и др. Сельскохозяйственное водоснабжение: Справочник. — М.: Агропромиздат, 1992. — 287 с.
26. *Трегубенко Н.С.* Водоснабжение и водоотведение. — М.: Высшая школа, 1989.
27. *Фейзиев Г.К.* Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
28. *Фрог Б.Н.* Водоподготовка. — М.: Изд-во МГУ, 1996. — 680 с.
29. *Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф.* Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. — М.: Стройиздат, 1984. — 116 с.
30. *Яковлев С.В., Иванов Е.Н., Прозоров И.В.* и др. Рациональное использование водных ресурсов. — М.: Стройиздат, 1991.

Оглавление

Предисловие **3**

Введение **4**

Раздел 1. Источники водоснабжения **8**
1.1. Природные водные ресурсы и их использование для целей водоснабжения 8
1.2. Изыскания для проектирования систем водоснабжения 11
1.3. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и сооружений систем водоснабжения хозяйственно-питьевого назначения 13

Раздел 2. Общие сведения о водоснабжении **17**
2.1. Централизованные системы и схемы водоснабжения 17
2.2. Нормы водопотребления 22
2.3. Определение расчетных расходов воды 28
2.4. Режим работы водопровода и его элементов 33
2.4.1. Режим работы отдельных сооружений и их функциональная взаимосвязь 33
2.4.2. Работа системы водоснабжения при возникновении пожара 40
2.4.3. Выбор расчетных режимов работы системы водоснабжения 42
2.5. Водонапорные башни и пневматические установки 43
2.6. Резервуары чистой воды 49

Раздел 3. Водопроводные сети, водоводы и сооружения на них **54**
3.1. Классификация и трассировка водопроводных сетей и водоводов 54
3.2. Расчетная схема отбора воды 58
3.3. Определение диаметров и потерь напора в сети и водоводах 62
3.4. Гидравлический расчет сети 71
3.4.1. Задачи гидравлического расчета водопроводных сетей 71
3.4.2. Первоначальное потокораспределение воды в кольцевых сетях 73
3.4.3. Теоретические основы и практические методы внутренней увязки кольцевых сетей 75
3.5. Напоры в системах водоснабжения 82

3.6. Устройство и оборудование водопроводных сетей 84
3.6.1. Общие требования к материалу труб. Типы труб и их выбор 84
3.6.2. Трубопроводная арматура систем водоснабжения 96
3.7. Сооружения на водопроводной сети и водоводах 108

Раздел 4. Водозаборные сооружения 114
4.1. Сооружения для забора подземных вод 114
4.1.1. Условия залегания подземных вод, их использование 114
4.1.2. Типы водозаборов подземных вод, условия их применения 116
4.1.3. Забор подземных вод с помощью буровых скважин 117
4.1.4. Шахтные колодцы 124
4.1.5. Горизонтальные водозаборы 126
4.1.6. Лучевые водозаборы 129
4.1.7. Каптаж подземных вод 131
4.2. Сооружения для забора поверхностных вод 134
4.2.1. Основные определения и классификация сооружений 134
4.2.2. Требования, предъявляемые к водозаборам систем водоснабжения 136
4.2.3. Выбор места расположения и технологической схемы водозаборов 136
4.2.4. Водозаборные сооружения берегового типа 138
4.2.5. Водозаборные сооружения руслового типа 145

Раздел 5. Водоподготовка 158
5.1. Требования, предъявляемые к природным водам различными водопотребителями 158
5.2. Способы улучшения качества воды. Основные технологические схемы 166
5.3. Коагулирование примесей воды. Реагентное хозяйство 175
5.4. Смешение реагентов с обрабатываемой водой 181
5.5. Камеры хлопьеобразования 187
5.6. Отстаивание воды 195
5.7. Осветление воды в слое взвешенного осадка 202
5.8. Осветление воды в гидроциклонах. Флотационная обработка природных вод 206
5.9. Обработка воды фильтрованием 212

5.10. Обеззараживание воды 225
5.11. Дезодорация воды 232
5.12. Дегазация воды 234
5.13. Обезжелезивание воды 236
5.14. Умягчение воды 243
5.15. Опреснение и обессоливание воды 247
5.16. Фторирование и обесфторивание воды 252
5.17. Оборот промывных вод и обработка осадка 256
5.18. Стабилизация воды 258
5.19. Компактное водоочистное оборудование 261
5.20. Проектирование станций водоподготовки 266
5.20.1. Основы выбора технологических схем, отдельных сооружений, входящих в них, и реагентов 266
5.20.2. Высотная схема и планировка водоочистных сооружений 269
5.20.3. Идеология развития водоснабжения в XXI веке (на примере Московского водопровода) 275

Список литературы 282

Учебное издание

Сомов Михаил Александрович
Квитка Лиана Андреевна

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Учебник для среднего
профессионально-технического образования

Редактор *Г.Г. Морозовская*
Корректор *Л.С. Куликова*
Компьютерная верстка *Е.В. Матусовская*

ЛР № 070824 от 21.01.93

Сдано в набор 07.09.2005. Подписано в печать 28.12.2005.
Формат $60 \times 90^1/_{16}$. Бумага типографская № 2.
Гарнитура *Newton*. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 18,0. Уч.-изд. л. 18,5.
Доп. тираж 2000 экз. Цена свободная. Заказ № 6968.

Издательский Дом «ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в.
Тел.: (495) 380-05-40, 380-05-43.
Факс: (495) 363-92-12.
E-mail: books@infra-m.ru
http://www.infra-m.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО ордена «Знак Почета»
«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова».
214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.