

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

В. Д. ЮЩЕНКО

ВОДОПОДГОТОВКА

Учебно-методический комплекс
для студентов специальности 1-70 04 03
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

В двух частях

Часть 1

Новополоцк
ПГУ
2009

УДК 628.1(075.8)
ББК 38.761.1я73
Ю98

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-строительного факультета в качестве учебно-методического комплекса (протокол № 2 от 30.10.08)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

начальник производства «Водоканал» КУП ЖКХ г. Новополоцка А. Г. ЛАРИН;
зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения УО «ПГУ» Т. В. КОЗИЦИН

Ющенко, В. Д.

Ю98 Водоподготовка : учеб.-метод. комплекс для студентов спец. 1-70 04 03
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». В 2 ч. Ч. 1 /
В. Д. Ющенко. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 252 с.
ISBN 978-985-418-805-8.

В первой части приведены темы изучаемого курса, их объем в часах лекционных и практических занятий; представлены основные сведения о системах, сооружениях, процессах и методах, предназначенных для обработки воды из природных источников. Изложены теоретические основы проектирования, расчета и эксплуатации систем водоподготовки, приведен список литературы.

Предназначен для преподавателей и студентов вузов, специалистов в области водоснабжения населенных мест и промышленных предприятий.

УДК 628.1(075.8)
ББК 38.761.1я73

ISBN 978-985-418-805-8 (Ч. 1)
ISBN 978-985-418-804-1

© Ющенко В. Д., 2009
© УО «Полоцкий государственный университет», 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Водоподготовка» является одним из фундаментальных курсов, читаемых кафедрой водоснабжения и водоотведения УО «ПГУ» для студентов IV курса очной формы обучения специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» в 8 семестре. В ней рассматриваются основополагающие вопросы расчета, проектирования и эксплуатации систем и сооружений подготовки воды, прежде всего для хозяйственно-питьевых целей.

Преподается данная дисциплина в форме чтения лекций, проведения практических и лабораторных занятий. Студенты также должны выполнить курсовой проект и по итогам изучения предмета сдать зачет и экзамен.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Водоподготовка» разработан в соответствии с требованиями образовательного стандарта РД РБ 02100.5.02-98. Он должен способствовать самостоятельному построению студентом условий и этапов решения профессиональных задач, становлению рефлексивной позиции, выстраиванию индивидуального стиля деятельности, выбора путей желаемых профессиональных позиций и является одним из средств достижения планируемых результатов обучения.

В состав учебно-методического комплекса входят следующие структурно взаимосвязанные и взаимодополняющие компоненты: рабочая программа и краткий конспект лекций (первая часть), содержание практических и лабораторных занятий, методические указания к выполнению курсового проекта, вопросы для самоконтроля и литература (вторая часть).

Кроме данного варианта комплекса, созданы электронные тесты, и преподаватель может сочетать их использование на занятиях.

Приведенные материалы по темам могут использоваться для определения исходного уровня знаний студентов, что позволяет подобрать для некоторых студентов индивидуальный план обучения, заменить изучение некоторых тем факультативными темами.

Объем изучаемой дисциплины в соответствии с учебным планом дневной и заочной форм обучения представлен ниже.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА

Виды занятий и формы контроля

Виды занятий и формы контроля	Дневная форма обучения	Заочная форма обучения
Курс	4	5
Семестр	8	10
Лекций, ч	72	8
Экзамен (семестр)	8	10
Зачет (семестр)	8	–
Практические, ч	36	8
Лабораторные занятия, ч	18	8
Курсовой проект (семестр/часы)	8/16	10
Управляемая самостоятельная работа (часы)	16	–

Цель и задачи дисциплины

Целью преподавания дисциплины является подготовка специалистов для производственно-технологической, организационно-управленческой, проектно-конструкторской и исследовательской деятельности в области проектирования, строительства и эксплуатации систем подготовки воды из природных источников.

Задачами изучения дисциплины являются:

– получение знаний о сущности, теоретическом обосновании и использовании методов, способов, технологических схем обработки воды и получения ее необходимого качества в соответствии с нормативными документами (государственными и ведомственными), на основе достижений физической и коллоидной химии, биохимии и общей теории процессов и аппаратов;

– приобретение умения осуществлять проектирование, строительство, монтаж и эксплуатацию систем и сооружений подготовки воды, а также знаний по устройству сооружений, особенностям их конструкций и расчета;

– приобретение умения анализировать полученные результаты и давать им технико-экономическую оценку, владеть рациональными приемами поиска и использования информации в области водоподготовки и охраны водных ресурсов на основе последних достижений науки и техники,

решать вопросы о возможности и целесообразности применения новейшего оборудования при реконструкции водоочистных сооружений.

Изучение разделов данной дисциплины связано с такими дисциплинами, как: высшая математика, физика, химия, начертательная геометрия и графика, гидравлика, насосные и воздуходувные станции, инженерные сети водоснабжения и водоотведения и их оборудование, очистка сточных вод, техника и технология строительно-монтажных работ.

В данном учебно-методическом комплексе приведены краткое содержание лекций, практических и лабораторных занятий, а также объем и порядок выполнения курсового проекта по дисциплине «Водоподготовка» для студентов IV курса специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» на основании программы курса, учебной и справочной литературы.

Некоторые специальные вопросы обработки воды (удаление железа в воде технологических процессов различных производств, опреснение и обессоливание воды, удаление растворенных газов, стабилизационная обработка оборотной воды и т.д.) будут рассмотрены при изучении дисциплины «Водоснабжение промышленных предприятий».

Ниже приведена структура дисциплины «Водоподготовка».

1. Лекционный материал

№ п/п	Наименование темы	Содержание темы	Объем, час	
			Д	З
	Введение (1 ч)	Состояние и развитие вопросов водоподготовки для хозяйственно-питьевых целей в Республике Беларусь и в мире.	1	2
1	Оценка качества воды в источниках. Основные задачи и методы обработки воды. Технологические схемы водоочистных сооружений (5 ч)	Характеристика состава природных вод. Классификация примесей в воде (по Л.А. Кульскому). Оценка качества воды из природных источников. СанПиН 10.124-99 РБ. Классификация методов обработки воды. Основные технологические схемы и задачи водоподготовки для хозяйственно-питьевых целей.	3	
2	Реагентная обработка воды (8 ч)	Виды, классификация и характеристика реагентов, применяемых для обработки воды.	2	

		<p>Роль процессов коагуляции в технологии обработки воды. Основные виды коагуляции: реагентная коагуляция, контактная коагуляция и электрокоагуляция. Коагулянты и их свойства.</p> <p>Методы интенсификации коагулирования воды. Реагенты и процессы для флокулирования и подщелачивания воды. Реагенты для улучшения органолептических показателей воды. Определение расчетных доз реагентов.</p>	4	
3	<p>Сооружения для приготовления растворов реагентов. Смешение реагентов с обрабатываемой водой (8 ч)</p>	<p>Технологические схемы приготовления растворов реагентов. Хранение реагентов в «сухом» и «мокром» виде, оборудование складов.</p> <p>Конструкции различных типов сооружений и оборудования для приготовления растворов реагентов.</p> <p>Дозирование реагентов в обрабатываемую воду. Классификация дозаторов и их конструктивные особенности.</p> <p>Классификация смесительных устройств. Конструкции и принципы расчета смесителей механического и гидравлического типов.</p>	2	
4	<p>Предварительное осветление воды и удаление грубодисперсных примесей (9 ч)</p>	<p>Осветление воды в гидроциклонах и центрифугах.</p> <p>Обработка воды флотацией, теоретические основы процесса. Типы флотации и их оценка. Конструкции флотаторов, область применения и принцип расчета.</p> <p>Предварительная обработка воды фильтрованием через сетки, ткани, основные закономерности процесса. Конструкции микрофильтров, барабанных сеток и акустических фильтров. Подбор оборудования.</p> <p>Обработка воды фильтрованием через осадки. Медленные и намывные фильтры. Принцип действия, типы и конструкции.</p> <p>Биореакторы для биологической предочистки воды. Варианты размещения биологических блоков. Промывка биоагрузки.</p>	2	3
			2	
			2	
			2	
			2	
			1	

5	Осветление и обесцвечивание воды отстаиванием (6 ч)	Общие сведения об отстаивании воды. Теоретические основы процесса отстаивания. Режим движения воды в отстойниках, коэффициент объемного использования сооружений.	1	
		Область применения и классификация камер хлопьеобразования. Устройство, конструкции и принцип расчета. Флокуляторы и аэрофлокуляторы.	2	
		Классификация отстойников, область их применения. Вертикальные и горизонтальные отстойники, конструкции и устройство, способы и оборудование для удаления осадка. Тонкослойные отстойники. Водоочистная установка типа «Струя».	3	
6	Обработка воды в слое взвешенного осадка (4 ч)	Теоретические основы процесса обработки воды в слое взвешенного осадка. Принцип работы осветлителя со взвешенным осадком.	1	
		Конструкции осветлителей, их технологическая оценка, область применения и методики расчета.	3	
7	Фильтрация воды (10 ч)	Общие сведения о фильтрации воды. Классификация методов фильтрации воды. Основные характеристики работы фильтров.	1	
		Фильтрующие материалы и поддерживающие слои.	1	
		Теоретические основы процесса фильтрации воды через зернистую загрузку скорых фильтров. Классификация скорых фильтров, принцип действия и область применения.	2	
		Конструктивные элементы скорых фильтров. Дренажно-распределительные системы. Промывка фильтров и способы подачи промывной воды. Устройства для сбора и отведения промывной воды. Регулирование скорости фильтрации. Расчет и проектирование скорых фильтров.	3	
		Конструкции скорых фильтров. Грубозернистые фильтры. Контактные осветлители и фильтры. Префильтры. Двухпоточные и сверхскоростные фильтры. Фильтры с плавающей загрузкой. Устройство, конструкции, область применения, методика расчета.	3	

8	Обеззараживание воды (5 ч)	<p>Общие сведения. Обеззараживание воды, классификация методов и их санитарно-техническая оценка. Использование йода, перманганата калия, ионов серебра и т.д. для обеззараживания воды.</p> <p>Обработка воды хлором и его производными, химизм процесса. Организация хлорного хозяйства, ведение технологического процесса при использовании жидкого хлора, гипохлорита натрия, двуокиси хлора и хлорной извести. Хлораторные и хлордозаторные.</p> <p>Обеззараживание воды озоном. Химизм процесса, технологические схемы. Приготовление озono-воздушной смеси и способы ее контакта с обрабатываемой водой. Обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами, сущность процесса, схемы и конструкции установок, область и условия применения.</p>	1 2 2	
9	Специальные методы обработки воды (11 ч)	<p>Стабилизация воды. Методы определения стабильности воды. Индексы насыщения Ланжелье и Ризнера. Способы стабилизационной обработки воды.</p> <p>Обработка воды для улучшения привкусов и запахов. Аэрационные аппараты вакуумно-эжекционного, пенного и пленочного типов. Обработка воды окислителями: хлор, озон, перманганат калия. Сорбционная угольная обработка воды. Характеристика и технология обработки воды активными углями.</p> <p>Классификация методов обезжелезивания воды, их технико-экономическая оценка. Генезис железа в природных водах. Пробное обезжелезивание воды. Технологические схемы и сооружения для удаления железа из воды.</p> <p>Содержание марганца в природных водах. Сущность и химизм процессов удаления марганца из воды. Технологические схемы и сооружения. Совместное удаление из воды железа и марганца.</p> <p>Фторирование воды. Нормативы содержания фтора в воде, его влияние на организм человека. Технология фтори-</p>	1 2 3 2 1	1

		<p>рования, применяемые реагенты, их дозы и места введения. Аппараты для приготовления растворов реагентов и их дозирование.</p> <p>Классификация методов обесфторивания питьевой воды и их оценка. Технология обесфторивания воды. Химическая сущность процессов. Совместное удаление из воды фтора и марганца.</p>	2	2
10	Проектирование водоочистных комплексов хозяйственно-питьевого назначения (5 ч)	<p>Общие сведения по проектированию водопроводных очистных сооружений. Обоснование выбора площадки очистных сооружений. Необходимость организации зон санитарной охраны.</p> <p>Принципы компоновки водоочистных комплексов и станций. Подсобные, складские и вспомогательные сооружения и помещения на территории водоочистных сооружений. Высотная схема и планировка водоочистных сооружений. Генеральный план и его составляющие.</p> <p>Оборот промывных вод, технологические схемы и сооружения. Методы и способы обработки и удаления осадков промывных вод.</p>	1 2 2	
		ИТОГО	72	8

2. Практические занятия

№ п/п	Тема занятий	Объем, час	
		Д	З
1	Определение производительности водоочистной станции. Выбор технологической схемы обработки воды	1	2
2	Определение доз реагентов для обработки воды. Последовательность ввода растворов реагентов в воду	2	2
3	Расчет сооружений для приготовления раствора коагулянтов, дозирование и смешение с обрабатываемой водой	4	
4	Расчет вертикального смесителя	2	
5	Расчет камеры хлопьеобразования и горизонтального отстойника	4	
6	Методика расчета и проектирования осветлителя со взвешенным осадком коридорного типа	4	
7	Проектирование и расчет скорых осветлительных фильтров. Особенности расчета фильтров для удаления из воды железа	4	2
8	Расчет промывного оборудования скорых фильтров	2	
9	Контактные осветлители. Конструкция и расчет КО-3	4	
10	Применение окислителей для обработки и обеззараживания воды	2	
11	Обеззараживание воды бактерицидным облучением	2	

12	Решение генплана и высотной схемы водоочистного комплекса. Складские и вспомогательные помещения	1	2
13	Построение высотной схемы водоочистных сооружений	2	
14	Расчет сооружений по обработке промывных вод	2	
	ИТОГО	36	8

3. Лабораторные занятия

№ п/п	Тема занятий	Объем, час	
		Д	З
1	Состав природных вод. Методы оценки качества природных вод	2	2
2	Экспериментальное определение дозы коагулянта при обработке мутных и цветных вод	4	4
3	Экспериментальное определение дозы щелочи при коагулировании мутных и цветных вод	2	
4	Изучение процессов известково-содового метода умягчения воды	4	4
5	Удаление железа из воды природных источников	4	4
6	Изучение процессов осаждения примесей воды	2	
7	Изучение процессов фильтрования воды		
7.1	Определение гранулометрического состава и оценка фильтрующих материалов	2	
7.2	Исследование расширения фильтрующих материалов при промывке скорых фильтров	2	2
7.3 – 7.5	Определение параметров и изучение работы скорых фильтров (времени защитного действия фильтров, состояния фильтрующего слоя, грязеемкости загрузки фильтра)	Учебно-исслед. работа	
7.6	Осветление и обесцвечивание воды в контактных осветлителях	УИР	
	ИТОГО	22 + УИР	16 + УИР

ПРИМЕЧАНИЕ: Объем лабораторных работ для студентов дневного отделения составляет 18 ч, а заочного – 8 ч. Окончательный перечень лабораторных работ определяется преподавателем при проведении занятий.

4. Курсовой проект

В процессе изучения дисциплины предусмотрено выполнение курсового проекта на тему «Водоочистные сооружения населенного пункта», который разрабатывается на стадии технического проекта и состоит из расчетно-пояснительной записки и чертежей.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать описание, выбор, обоснование и анализ принятых методов, способов и технологических схем подготовки воды, проектирование, расчет и подбор всех необходимых сооружений и оборудования.

В графической части проекта должны быть представлены генеральный план площадки водоочистных сооружений, характерные планы и разрезы станции и высотная схема движения воды по очистным сооружениям с расположением необходимых геодезических отметок.

КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Для нужд современных населенных пунктов, промышленности, сельского и энергохозяйств необходимо огромное количество воды, строго отвечающей по своим качествам нормативным требованиям или технологии производства. Решение этих задач требует тщательного выбора источников водоснабжения и строительства или реконструкции очистных сооружений с плановым проведением широких комплексных мероприятий по защите от загрязнений почвы, воды и воздуха, оздоровления водных бассейнов.

Водоснабжение является важнейшей частью технического обеспечения повышения уровня жизни людей, благоустройства населенных мест, развития промышленности и сельского хозяйства. Снабжение всех категорий водопотребителей водой в достаточном количестве и требуемого качества имеет важное социальное и санитарно-гигиеническое значение. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) около 70 % заболеваний населения планеты вызываются неудовлетворительным качеством воды.

К сожалению, за последние 15...20 лет в странах СНГ обострились проблемы обеспечения населенных мест, предприятий промышленности и сельского хозяйства водой необходимого качества.

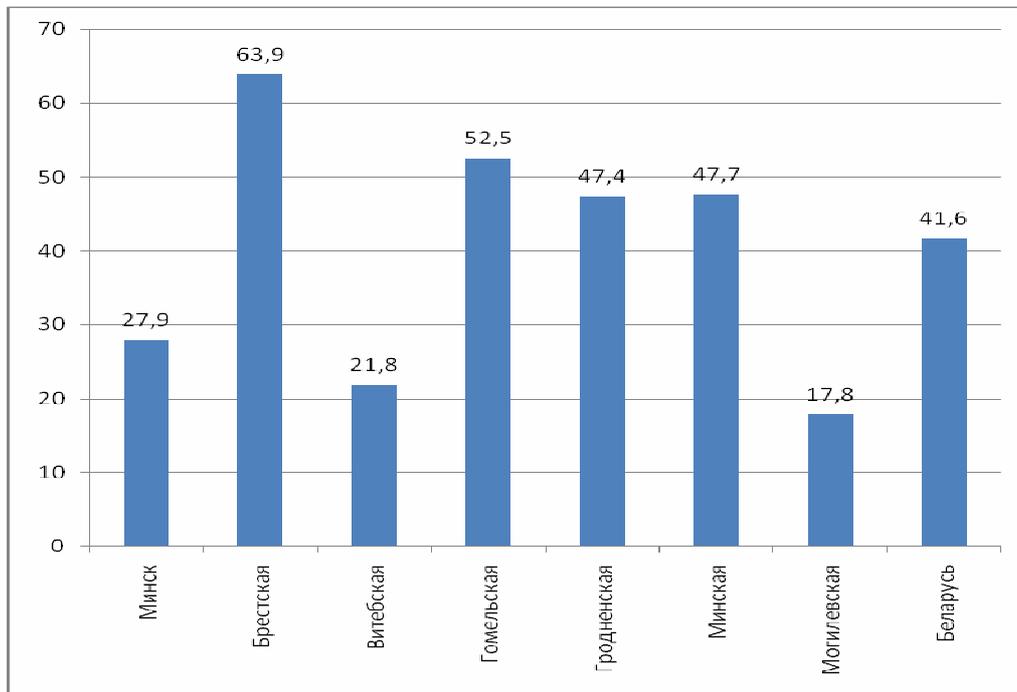
Распад СССР, переход на рыночные отношения и изменение форм собственности – все это негативно сказалось на деятельности организаций, отвечающих за добычу, обработку и распределение среди потребителей воды требуемого количества под нужным напором.

Население Беларуси составляет порядка 10 млн человек, из которых 70 % составляет городское население и 30 % – сельское.

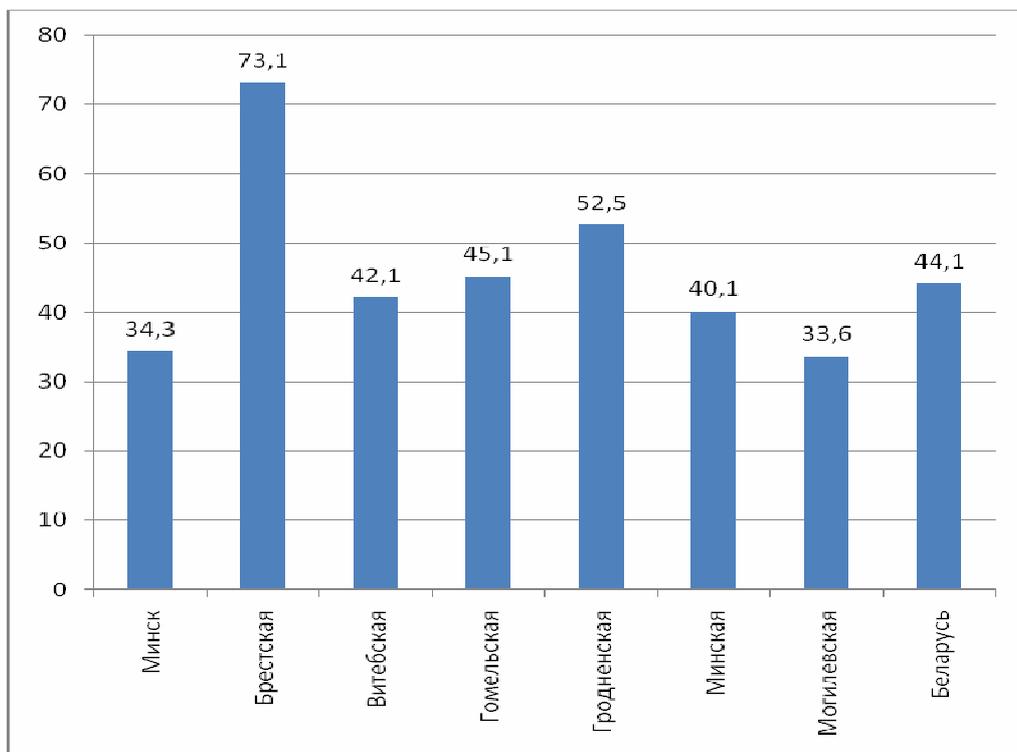
Более 75 % населения республики пользуются водой централизованных и около 25 % нецентрализованных источников водоснабжения, причем последние представляют собой в основном (90 %) шахтные колодцы, незащищенные от возможного загрязнения грунтовыми водами.

Всего для населения используется порядка 13,9 тыс. источников централизованного питьевого водоснабжения, а также 52 тыс. источников нецентрализованного водоснабжения (шахтные и трубчатые колодцы) [18], причем свыше 50 % централизованных систем питьевого водоснабжения не имеют сооружений подготовки воды до питьевых кондиций. Удельный вес проб воды, не отвечающих гигиеническим требованиям по санитарным показателям в населенных пунктах, приведен на диаграммах А и Б (газета «АиФ», № 43, 2008 г.).

**А. Децентрализованное хозяйственно-питьевое водоснабжение,
в т.ч. шахтные колодцы (превышение концентраций: железо, нитраты, аммиак)**



**Б. Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение
(превышение концентраций: железо, марганец, аммиак)**



Таким образом, примерно 43 % населения Республики Беларусь получает воду, которая не соответствует нормативным санитарно-гигиеническим требованиям.

В населенных пунктах Российской Федерации (РФ) используются, в основном (более 65 %), поверхностные воды.

Основным источником централизованного водоснабжения населения Республики Беларусь (РБ) являются подземные воды, лишь в Минске (частично) и Гомеле для питьевого водоснабжения используется вода из поверхностных источников, которые широко применяются также для водоснабжения крупных промышленных предприятий.

Очистка подземных вод в основном сводится к удалению железа, хотя в воде ряда водозаборов наблюдается повышенное содержание аммиака, сероводорода, метана, нитратов, бактериальных загрязнений и других примесей. Общая производительность станций обезжелезивания составляет около 2,0 млн м³/сут или ~ 65 % от потребной мощности.

Принятый основной метод обеззараживания воды хлорированием, хотя и является высоким эффективным средством, обладающим длительным бактерицидным действием, но в то же время ухудшает вкусовые качества воды и способствует образованию хлорорганических соединений-канцерогенов. Обеззараживание воды на водозаборах подземных вод часто не производится, что противоречит требованиям стандартов ВОЗ.

Полное достижение целей бесперебойного обеспечения населения качественной питьевой водой и потребностей народного хозяйства с учетом реального экономического положения Республики Беларусь должно быть предусмотрено в средне- и долгосрочных целевых комплексных программах перспективного развития систем водоснабжения городов и регионов республики.

В настоящее время обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной социальной задачей Беларуси. Об этом свидетельствуют принятый Закон Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении» (1999 г.) и Республиканская программа «Чистая вода» (2004 г.), которые направлены на достижение основной цели – улучшения и сохранения здоровья населения и, следовательно, безопасности нации. Для осуществления контроля качества воды хозяйственно-питьевого водоснабжения разработан нормативный документ СанПиН 10-124-99 РБ.

В решении общих проблем питьевого водоснабжения важную роль играют задачи оптимального проектирования, строительства и эксплуатации систем питьевого водоснабжения и их элементов. Они должны иметь комплексные решения гидрогеологических задач по оценке эксплуатационных запасов вод, технологических и технико-экономических задач водоснабжения, а также задач защиты водных источников от истощения и загрязнения.

Осуществляемый в стране курс на интенсивное развитие народного хозяйства требует, чтобы основные средства вкладывались в переоснащение действующего производства с применением новейших технологий, так как это обеспечивает быструю их отдачу, уменьшает срок окупаемости капиталовложений, позволяет получить высокий эффект. Прирост объема услуг по водоснабжению и водоотведению для удовлетворения возрастающих потребностей населения и других потребителей должен идти не столько за счет строительства новых мощностей, сколько за счет повышения эффективности действующих сооружений и технического перевооружения на базе достижения научно-технического прогресса.

Перспективы развития водоочистных комплексов для населенных пунктов следующие:

- интенсификация работы существующих очистных станций, применение новых методов и сооружений по обработке воды;
- рациональное использование воды питьевого качества (установка счетчиков, контроль и экономия водопотребления);
- охват (100 %) населения водой питьевого качества.

ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

1.1. Оценка качества воды в природных источниках. СанПиН 10-124-99 РБ

Природные воды представляют собой сложную дисперсную систему, в состав которой входят соли (преимущественно в виде ионов, молекул и комплексов), минеральные и органические вещества (в молекулярных соединениях, в коллоидном состоянии и взвеси), газы (в виде молекул и гидратированных соединений), гидробионты (планктон, бентос, нейстон, пагон), бактерии и вирусы.

Взвешенные вещества в природных водах представляют собой глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы, а также коллоиды (различные вещества органического происхождения, кремнекислота, фульвокислоты, гуматы) [3, 4, 7].

Химический состав природных вод подразделяется на пять групп (О.А. Алекин):

- основные ионы, содержащиеся в наибольшем количестве (натрий Na^+ , магний Mg^{2+} , сульфаты SO_4^{2-} , карбонаты CO_3^{2-} , хлориды Cl^- , гидрокарбонаты HCO_3^-);
- растворенные газы (азот N_2 , кислород O_2 , оксид углерода CO_2 , сероводород H_2S и др.);
- биогенные элементы (соединения фосфора, азота, кремния);
- микроэлементы – соединения всех остальных химических элементов;
- органические вещества.

Классификация примесей воды из четырех групп, основанных на их фазовом состоянии и дисперсности, предложена Л.А. Кульским [1, 3, 4, 7].

Примеси I группы представляют собой нерастворимые в воде суспензии и эмульсии, включая планктон и бактерии, кинетически неустойчивые и находящиеся во взвешенном состоянии. Они проникают в воду вследствие эрозии слагающих ложе водоема пород и смыва с поверхности почв и в состоянии покоя выпадают в осадок.

Примесями II группы являются гидрофобные и гидрофильные органические и минеральные коллоидные частицы, а также детергенты и вирусы, которые по своим размерам близки к коллоидным примесям.

Примеси III группы – это молекулярно-растворенные вещества (органические соединения, растворимые газы и т.п.).

Примеси IV группы представляют собой вещества, диссоциированные на ионы. В результате процесса гидратации кристаллическая структура этих веществ разрушается. Устойчивость образующих гидроксидов металлов прямо пропорциональна их заряду и обратно пропорциональна радиусу.

Концентрации отдельных примесей определяют свойства воды, т.е. ее качество. Различают следующие группы показателей качества воды:

- физические (температура, мутность и прозрачность, цветность, запах, вкус и др.);
- химические (жесткость, щелочность, активная реакция, окисляемость, сухой остаток и др.);
- биологические (цветность, ХПК, БПК, перманганатная окисляемость);
- бактериологические (общее количество бактерий, коли-индекс и др.).

Для определения качества воды производят физические, химические, бактериологические и технологические анализы в специализированных лабораториях в наиболее характерные для конкретного источника периоды года.

1.2. Физические показатели качества воды

Температура воды для подземных вод характеризуется относительно постоянной величиной 8...12 °С, а для поверхностных – зависит от температуры воздуха и от сбросов различных видов хозяйственных и технологических стоков (0,1...30 °С). Рекомендуемое значение температуры воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет 7...11 °С.

Мутность воды (мг/л) является одним из основных ее физических показателей и определяется специальными мутномерами. Включает практически все примеси, относящиеся к первой и второй группам (по Л.А. Кульскому). По нормативным показателям вода хозяйственно-питьевого назначения должна иметь мутность не более 1,5 мг/л.

Подземные воды обычно имеют малую мутность 0...10 мг/л (пробы воды, отобранные в начальный момент времени). Для поверхностных вод мутность различна и зависит от вида источника и от поры года (например, весенний или осенний паводки, зимний период). Наиболее чистыми являются горные реки. В озерах и водохранилищах мутность меньше, чем в реках. В поверхностных источниках Республики Беларусь мутность составляет порядка 20...350 мг/л.

По мутности вода поверхностных источников подразделяется:

- маломутные воды – до 50 мг/л;

- мутные воды – до 250 мг/л;
- высокомутные – до 1500 мг/л;
- сверхмутные – выше 1500 мг/л.

Цветность воды обусловлена присутствием в воде гумусовых и дубильных веществ и других органических соединений, входящих в состав живых и растительных организмов и продуктов их жизнедеятельности. Этот показатель характеризует собой степень окрашиваемости воды. Например, при массовом развитии водорослей вода приобретает окраску от светло-зеленой до темно-бурой («цветение» водоемов).

Цветность воды измеряют в градусах по платинокобальтовой шкале (в воде питьевого качества она не должна превышать 20°) и определяют приборами, основанными на изменении оптической плотности воды. За 1 градус принято условно растворение одного грамма кобальта и платины в одном литре воды.

По цветности различают:

- малоцветные воды – меньше 50°;
- цветные – меньше 100°;
- высокоцветные – меньше 300°;
- концентрированные цветные – свыше 300°.

Наряду с этим окраску воде могут придавать и минеральные растворимые или нерастворимые вещества: соединения железа, марганца и др.

Прозрачность – субъективный показатель воды – может служить предварительной оценкой мутности и цветности в источнике водоснабжения. Определяется степенью видимости определенных символов от уровня воды в цилиндре и должна составлять не менее 30 см по «кресту» или 100 см по «шрифту Снеллена».

Привкус и запах воды могут быть естественного или искусственного происхождения. В последнем случае частой причиной является сброс различных категорий сточных вод.

Различают четыре основных вкуса воды: соленый (хлорид натрия), горький (сульфат магния), сладкий (фруктозы, сахарозы) и кислый (растворенная углекислота).

К запахам естественного происхождения относят: землистый, рыбный, гнилостный, болотный, железистый и т.д., а к искусственным – хлорный, фенольный, аптечный, запах нефтепродуктов и т.д.

Интенсивность и характер этих показателей определяют органолептическим путем, т.е. с помощью органов чувств, по 5-балльной шкале (для населения – не более 2 баллов) или по «порогу разбавления» дистиллиро-

ванной водой. При этом необходимо отдельно указывать характер привкуса и запаха (болотистый, железистый). По балльной системе:

- 0 баллов – не ощущается дегустатором;
- 1 балл – ощущается дегустатором, не ощущается потребителем;
- 2 балла – может слабо ощущаться потребителем;
- 3 балла и выше – сильно ощущается потребителем.

1.3. Химические показатели качества воды

Стабильность воды. Вода называется стабильной, если она не имеет коррозионных свойств или не выделяет в осадок CaCO_3 , т.е. с одной стороны происходит коррозия металлов в водной среде, а с другой – отложение на стенках сооружений и коммуникаций углекислого кальция. Оценка стабильности воды производится по соотношению

$$C = \frac{Щ_0}{Щ_{обр}} = 1,$$

где $Щ_0$ – щелочность исходной воды, мг-экв/л (г-экв/м³); $Щ_{обр}$ – щелочность воды, обработанной при ее водоподготовке различными реагентами, в результате чего происходят химические реакции, изменяющие щелочность воды, мг-экв/л (г-экв/м³).

Если величина C меньше единицы, то вода имеет коррозионные свойства, а если больше единицы – вода выделяет в осадок CaCO_3 .

Щелочность воды – суммарное содержание соединений щелочных металлов (мг-экв/л), но в природных водах обычно представлена ионами калия и натрия с преобладанием последнего.

$$Щ = \frac{Na^+}{e_{Na}} + \frac{K^+}{e_K}.$$

Этот показатель также определяется суммой содержащихся в воде гидроксильных ионов и анионов слабых кислот – угольной, органических, а также бикарбонатных и карбонатных ионов. В связи с этим различают бикарбонатную, карбонатную и гидратную щелочность.

Щелочность воды нормативными документами не регламентируется, но данный показатель оказывает большое влияние на стабильность воды и на процессы ее химической обработки.

Активная реакция воды (величина рН) является показателем ее щелочности или кислотности и количественно характеризуется концентрацией водородных ионов. Этот показатель, как и щелочность, влияет на стабиль-

ность воды. Оценить стабильность воды при помощи величины рН можно следующим выражением (метод Ланжелье):

$$J = \text{pH}_0 - \text{pH}_s,$$

где J – индекс стабильности; pH_0 – активная реакция исходной воды в нормальных условиях; pH_s – активная реакция воды, обработанной реагентами в процессе водоподготовки при равновесном ее насыщении карбонатом кальция.

Если индекс стабильности J не равен нулю, то вода нестабильна.

Величина рН играет очень важную роль в процессах водоподготовки, так как химические соединения в зависимости от нее могут иметь различные формы.

Величина рН воды изменяется от 0 до 14, при этом для нейтральной среды $\text{pH} = 7$, кислой – < 7 и щелочной – > 7 .

Природные воды по величине рН можно классифицировать как кислые ($\text{pH} = 1...3$), слабокислые ($\text{pH} = 4...6$), нейтральные ($\text{pH} = 7$), слабощелочные ($\text{pH} = 8...10$) и щелочные ($\text{pH} = 11...14$).

Активная реакция природных вод обычно варьируется в пределах 6,5...8,5, что соответствует нормативам питьевой воды.

Жесткость воды (мг-экв/л) обусловлена наличием в ней кальция и магния.

$$Ж = \frac{\text{Ca}^{2+}}{20} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12}.$$

Различают карбонатную, некарбонатную и общую жесткость воды. Карбонатная жесткость обусловлена содержанием в воде карбонатных и бикарбонатных солей кальция и магния. Некарбонатная жесткость обусловлена кальциевыми и магниевыми солями серной, соляной, кремниевой и азотной кислот.

Жесткость природных вод не является вредной для здоровья человека, а скорее наоборот, кальций способствует выводу из организма кадмия, отрицательно влияющего на сердечно-сосудистую систему. Но повышенное значение жесткости делает воду непригодной для хозяйственно-бытовых нужд и приводит к значительному расходу моющих средств.

Согласно СанПиН 10-124-99 РБ в воде питьевого качества норма общей жесткости установлена 7 мг-экв/л, но кратковременно может быть разрешена до 10 мг-экв/л.

Жесткость воды ограничивается в питательной воде котлов, так как соли кальция и магния образуют накипь на стенках котлов, что приводит к снижению их экономичности, а иногда к авариям. Жесткость воды лимитируется при использовании ее на предприятиях бумажной и текстильной промышленности, при производстве искусственного волокна, в добавочной воде оборотных систем водоснабжения и т.п.

Для подземных источников общая жесткость, как правило, высокая и представлена, в основном, бикарбонатными ионами (карбонатная жесткость), а для поверхностных вод – наоборот, обычно малая и представлена некарбонатной жесткостью.

Железо и марганец присутствуют в природных водах в многовалентных формах, зависящих от величины рН, щелочности, окисляемости, содержания двуоксида углерода и т.д.

Общая концентрация железа представляет собой сумму двух- и трехвалентных ионов.

В воде подземных источников железо содержится в двухвалентной форме (гидрокарбоната, гидрозакиси и сульфита железа, реже – различных органических комплексов), около 60...90 % от общего железа. Практически на всей территории Республики Беларусь вода подземных источников содержит повышенную концентрацию растворенного железа. Марганец также содержится в двухвалентной форме, в основном в виде его окиси.

Под действием кислорода в воздухе, что характерно для поверхностных водных источников, основная форма содержания железа находится в виде трехвалентных ионов (гидрооксида железа, органических и неорганических комплексных соединений, коллоидов или тонкодисперсных взвесей), а марганца – четырех- или шестивалентных ионов.

Обычно содержание железа и марганца в природных водах не превышает нескольких десятков мг/л, но в шахтных водах может достигать нескольких сотен мг/л и более. Повышенная концентрация соединений железа в воде приводит к ряду отрицательных моментов:

- влияет на здоровье людей; длительное употребление воды человеком может привести к заболеванию печени (гемосидерит), увеличивает риск инфарктов, негативно влияет на репродуктивную функцию организма;
- придает окраску воде, а также железистый привкус и запах, что делает ее непригодной для питьевых целей;
- придает окраску санитарным приборам, что нежелательно;

– могут образовываться железобактерии, особенно в кислых средах, продукты которых в виде твердых отложений прикрепляются на стенках коммуникаций, уменьшая площадь живого сечения труб;

– является ядовитым веществом для фильтрующих материалов органического происхождения, например, для ионообменных смол при умягчении и обессоливании воды.

Избыток марганца вызывает окраску и вяжущий привкус, заболевание костной системы, развитие марганцевокислых бактерий.

Отечественными санитарными нормами установлены предельно допустимые концентрации в питьевой воде для железа 0,3 мг/л и марганца – 0,1 мг/л. Эти значения соответствуют рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, стандартам США и некоторых других стран. Наиболее жесткие нормы приняты в Швеции и в некоторых странах Европейского сообщества до 0,2 и 0,05 мг/л соответственно.

Содержание железа и марганца строго ограничено в воде, используемой при производстве пластмасс, кино- и фотопленки и бумаги, в текстильной, пищевой промышленности и т.п.

Фтор в природных водах Республики Беларусь обычно характеризуется малым содержанием до 0,5 мг/л, хотя в некоторых случаях его концентрация может быть 10...15 мг/л. Он является активным в биологическом отношении микроэлементом, содержание которого в воде питьевого качества во избежание кариеса или флюороза рекомендуется в пределах 0,7...1,5 мг/л.

Иод в природных водах обычно находится в ничтожно малых концентрациях. Он является очень важным биологическим микроэлементом, содержание которого в питьевой воде не должно превышать 10^{-8} мг/л во избежание эндемического зоба.

Бор и бром также являются важными биологическими микроэлементами. Их содержание в питьевой воде не должно превышать соответственно 0,5 и 0,2 мг/л. В подземных водах их концентрации достигают 8...12 мг/л.

Бор в питьевой воде в концентрации выше ПДК негативно воздействует на организм человека, ухудшая обмен веществ, и вызывает заболевание печени и желудочно-кишечного тракта. Повышенное содержание брома в питьевой воде влияет на изменение скорости импульса по нервным волокнам, отрицательно сказывается на функции печени и почек, обуславливает снижение калия в крови и увеличивает содержание азота в мочеvine.

Ионный состав воды представляет собой растворенные вещества в воде и подразделяется на две группы: положительно заряженные ионы (катионы) и отрицательно заряженные ионы (анионы). Основные катионы,

представленные в воде, это Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ , а анионы: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , SiO_3^{2-} ; концентрация перечисленных элементов составляет более 95 % от общего ионного состава в природных водных источниках (не подверженных антропогенному и техногенному вмешательству).

Ионный состав влияет на величину pH и стабильность воды.

Сумма катионов и анионов (мг/л) определяет **общее солесодержание воды**. По этому показателю могут быть: пресные воды (до 1000 мг/л, эта же величина является нормативом для воды питьевого качества), малосоленые (до 2500 мг/л), соленые (до 10000 мг/л), сильносоленые или концентрированные (до 30000 мг/л), сверхконцентрированные (до 40000 мг/л) и рассолы (свыше 40000 мг/л).

В ионном составе воды большую роль играют **хлориды и сульфаты**, которые благодаря своей высокой растворимости присутствуют во всех природных водах обычно в виде натриевых, кальциевых и магниевых солей. При значительном содержании в воде хлориды (>350 мг/л) и сульфаты (>500 мг/л) являются причиной ее агрессивности по отношению к бетону. Воды, содержащие свыше 250 мг/л сульфат-ионов, оказывают разрушающее действие на бетонные конструкции вследствие образования гипса (результат реакции между сульфатами и известью цемента), что вызывает увеличение объема и образование трещин в бетоне. В свою очередь, присутствие в воде значительных количеств хлор-иона приводит к выщелачиванию и разрушению бетонного камня вследствие образования с известью растворимых хлористого магния и кальция.

Наличие в воде значительных концентраций хлоридов и сульфатов свидетельствует о повышенном растворенном остатке воды, что служит препятствием для ее использования не только для питания паровых котлов, но и для производства ряда полимеров, синтетического каучука, некоторых сортов бумаги и др.

Присутствие в питьевой воде больших количеств сульфата и хлорида натрия нарушает деятельность желудочно-кишечного тракта, кроме того, сульфаты и хлориды магния и кальция обуславливают некарбонатную жесткость воды.

Сульфаты в количестве свыше 500 мг/л придают воде горький вкус.

Растворенные газы могут присутствовать в подземных и поверхностных источниках, они способны выделяться из воды самостоятельно либо под действием принудительных аэрационных или окислительных процессов. Наиболее распространенными растворенными газами являются: углекислый газ CO_2 , сероводород H_2S , кислород, азот, метан.

Концентрация **углекислого газа** в воде нормативно не регламентируется, но его содержание напрямую влияет на величину рН и стабильность воды. Этот газ является производным угольной кислоты H_2CO_3 , (крайне неустойчивое соединение) и в зависимости от рН воды может присутствовать в ней в виде свободной углекислоты, представляющей собой растворенный в воде газ CO_2 , полусвязанной углекислоты (в виде бикарбонат-ионов HCO_3^-) и связанной углекислоты (в виде карбонат-ионов CO_3^{2-}):



Сумма соединений $\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ в воде должна быть постоянной и называется уравнением карбонатного равновесия. Любое нарушение этого равновесия делает воду нестабильной. Например, повышенное содержание агрессивной углекислоты $\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^-$ приводит к коррозионным свойствам воды: углекислота растворяет карбонат кальция, разрушающе воздействует на бетон и катализирует ход электрохимической коррозии металла.

Как правило, в поверхностных водах присутствие агрессивной углекислоты очень мало, а в подземных водах может быть значительным.

Сероводород H_2S может присутствовать как в поверхностных источниках (реки и озера болотного питания), так и в подземных водах, и встречается органического (продукт распада органических соединений) и неорганического (продукт растворения минеральных солей – серного колчедана, гипса и др.) происхождения. Повышенная концентрация сероводорода (нормативное значение до 0,5 мг/л) из-за резкого неприятного запаха делает воду непригодной для питья, способствует коррозии металла, вызывает зарастание трубопроводов в результате интенсивного развития серобактерий. Формы сероводорода в зависимости от величины рН могут быть представлены в воде слабодиссоциированной кислотой H_2S , гидросульфитными HS^- или сульфидными S^{2-} ионами, что влияет на процесс его удаления из воды.

Кислород попадает в воду при ее контакте с воздухом. В артезианских водах кислород отсутствует, а в поверхностных его концентрации довольно велики. В поверхностных водах содержание кислорода меньше теоретического за счет «дыхания» различных организмов, брожения, гниения органических остатков и т.п. Резкое снижение содержания кислорода в воде указывает на ее загрязнение. Растворенный в воде кислород интенсифицирует коррозию металла, поэтому в питательной воде теплоэнергетических установок наличие кислорода строго ограничено.

Азот в природные воды поступает из воздуха, при разложении органических остатков, а также при восстановлении соединений азота денитрифицирующими бактериями. Образующийся в воде в процессе гниения растений аммиак существенно влияет на технологии хлорирования воды.

Метан присутствует в природных водах, используемых для водоснабжения, как правило, в незначительных количествах. Однако в болотных водах, где в больших объемах протекают процессы разложения клетчатки растительных остатков, содержание метана доходит до 30 мг/л и более.

Окисляемость воды характеризует количество кислорода в мг/л, эквивалентное расходу окислителя, необходимого для окисления примесей в данном объеме; обуславливается присутствием органических и некоторых легкоокисляющихся неорганических примесей, таких, как железо (II), сульфиты, сероводород и др. В зависимости от применяемого окислителя различают перманганатную и бихроматную окисляемость. При этом окисляемость 1 мг O_2 /л соответствует окисляемости 0,253 мг $KMnO_4$ /л.

Артезианские воды характеризуются низкой окисляемостью (около 2 мг O_2 /л), а окисляемость грунтовых вод зависит от глубины их залегания. Воды озер в среднем имеют окисляемость до 8 мг O_2 /л, воды рек характеризуются окисляемостью до 60 мг O_2 /л, а окисляемость болотных вод достигает 400 мг O_2 /л.

Повышенное значение отношения цветности к окисляемости указывает на преобладание в воде устойчивых гумусовых веществ болотного происхождения, а пониженное – гумусовых веществ планктонного происхождения. Промежуточное значение этого отношения указывает на преобладание почвенного гумуса. Характерно, что окисляемость воды после коагулирования, отстаивания и фильтрования снижается меньше, чем цветность.

В воде питьевого качества окисляемость не лимитируется. Но для питательной воды котлов (из-за ее вспенивания), охлаждающей воды (из-за возможного биообрастания труб и аппаратуры), а также для воды, используемой при изготовлении синтетических волокон и некоторых пластмасс, эта величина имеет ограничения.

Азотсодержащие вещества (ионы аммония, нитратные и нитридные соединения) образуются в воде в результате восстановления нитритов и нитратов железом (II), сероводородом, гумусовыми веществами и т.п. либо разложения белковых соединений, вносимых в водоем со сточными водами. В последнем случае вода опасна в санитарном отношении. Наличие в питьевой воде более 45 мг/л нитратов приводит к нарушению окислительной функции крови, известной под названием метгемоглобинемии, способствует образованию злокачественных опухолей.

Соединения кремния встречаются в природных водах в форме органических и минеральных соединений. Количество кремния в воде поверхностных источников невелико и изменяется от десятых долей до нескольких мг/л, напротив, в подземных водах оно может достигать несколько десятков мг/л. Содержание кремния в питьевой воде не лимитируется, но в питательной воде котлов высокого давления оно недопустимо из-за возможности образования плотной силикатной накипи.

Фосфор встречается в природных водах в виде соединений минерального и органического происхождения, а также ионов ортофосфорной кислоты или сложного органического комплекса. В природных водах соединения фосфора присутствуют в малых количествах, но оказывают существенное влияние на водную растительность. Концентрация соединений фосфора в питьевой воде не регламентирована.

Ядовитые, токсические и радиоактивные вещества – мышьяк, стронций, бериллий и т.д., а также радиоактивные вещества – уран, радий и др. представляют собой большую группу веществ, которые обычно попадают в водоемы со сбросом сточных вод. Содержание их в питьевой воде ограничено СанПиН 10-124-99 РБ.

1.4. Биологические и бактериологические показатели воды

Общую концентрацию органических веществ принято оценивать такими показателями, как цветность, ХПК, БПК, перманганатная окисляемость. При этом ХПК и БПК не должны превышать 2...3 мг/л. Если эти величины выше указанных значений, то вероятнее всего происходит загрязнение водоемов неочищенными сточными водами.

Гидрофлора водоемов открытых источников определяется макро- и микрофитами. К первым относится высшая водная растительность, а ко вторым – водоросли (фитопланктон и фитобентос). При отмирании и разложении макрофитов вода обогащается органическими веществами, а появляющиеся пахнущие вещества ухудшают органолептические показатели качества воды. Микрофиты, подразделяемые на зеленые, сине-зеленые, диатомовые и другие, не только поглощают углекислоту, кислород (а сине-зеленые – азот, включая аммиак), но и продуцируют кислород. Массовое развитие микрофитов в отдельные периоды цветения воды значительно осложняет технологию улучшения ее качества, особенно для питьевых целей, так как возникает необходимость в дезодорации и микрофильтрации воды.

Гидробионты, населяющие природные воды, в процессе жизнедеятельности влияют не только на состав окружающей водной среды, но и на качество воды.

Они подразделяются: планктон (обитатели, пребывающие в толще воды от дна до поверхности); бентос (обитатели, находящиеся на дне водоема); нейстон (организмы, населяющие поверхностную пленку воды и адаптировавшиеся к жизни в специфических условиях ее поверхностного натяжения); пагон (организмы: моллюски, ракообразные, коловратки и т.д.).

Патогенные кишечные простейшие: лямблии, балантидии, дизентерийные амёбы, криптоспоридии определяют зараженность питьевой воды в паразитарном отношении.

Бактерии и вирусы из числа патогенных, т.е. паразитов, живущих на живом субстрате, развивающиеся в воде, могут вызвать заболевания брюшным тифом, амёбиазом, парафитом, дизентерией, бруцеллезом, инфекционным гепатитом, острым гастроэнтеритом, сибирской язвой, холерой, полиомиелитом, туляремией, туберкулезом, диареей и др.

Вирусы – мельчайшие живые существа размерами 16 – 30 мкм, видимые только под электронным микроскопом. В отличие от бактерий они не имеют клетчатой структуры, а состоят из нуклеиновой кислоты, покрытой белковой оболочкой. Они бывают шаровой и кубообразной формы, а также в виде прямых и изогнутых палочек. Вирусы являются внутриклеточными паразитами. Среди них встречаются бактериофаги, паразитирующие в клетках бактерий и вызывающие их разрушение и гибель.

В связи с тем, что при биологическом анализе воды определение патогенных бактерий затруднено, бактериологический анализ сводится к нахождению общего числа бактерий в 1 мл воды, растущих при 37 °С, и кишечной палочки – бактерии коли. Наличие последней имеет индикаторные функции, т.е. свидетельствует о загрязнении воды выделениями людей и животных и т.п.

Минимальный объем испытуемой воды, мл, приходящейся на одну кишечную палочку, называется коли-титром, а количество кишечных палочек в 1 л воды – коли-индексом. Допускается коли-индекс до 3, коли-титр – не менее 300, а общее число бактерий в 1 мл – до 100.

1.5. Требования к качеству и составу воды

В зависимости от целевого назначения к воде предъявляют разнообразные требования, согласно которым ее можно классифицировать как используемую для хозяйственно-питьевых целей, коммунальных предприятий, 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; нужд сельского хозяйства и т.д.

Вода хозяйственно-питьевого назначения должна быть безвредна для здоровья человека, иметь хорошие органолептические показатели и быть пригодной для использования в быту. Качество хозяйственно-питьевой воды регламентировано СанПиН 10-124-99 РБ, основные показатели ее следующие:

Мутность.....	до 1,5 мг/л
Цветность.....	до 20°
Запахи и привкусы при 20 °С.....	до 2 баллов
Водородный показатель	6,5...8,5
Общая жесткость	до 7 мг-экв/л
Содержание, мг/л:	
железо	до 0,3
бром	до 0,2
бор	до 0,5
хлориды	до 350
сульфаты	до 500
сухой остаток (общее солесодержание)	до 1000
марганец	до 0,1
Общее количество бактерий в 1 мл	до 100
Коли-индекс	до 3

Ряд отраслей пищевой промышленности 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 сахарного производства должно быть минимальное солесодержание и т.д.

Охлаждающая вода применяется либо для охлаждения непрерывно работающих агрегатов, либо для отведения теплоты от производственных продуктов. Использование воды при охлаждении может быть прямоточным, т.е. после однократного применения производится ее сброс в водоем, или с ее возвратом и многократным применением (оборотные и повторно используемые системы). Качество и состав охлаждающей воды зависит от условий применения, например, охлаждающая вода не должна давать отложений в трубах и аппаратах, по которым она подается, так как они затрудняют

теплопередачу и сокращают живое сечение, снижая интенсивность циркуляции и эффект охлаждения.

Вода, используемая для охлаждения, не должна содержать крупных минеральных взвешенных веществ, большого количества железа и органических веществ во избежание засорения или биообрастания трубок холодильных аппаратов и конденсаторов.

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 входящей в состав продукта.

В воде, идущей на изготовление кино- и фотопленки, фотобумаги, не должно содержаться марганца, железа, кремнекислоты, ограничивается 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 заводнения нефтяных пластов не должна вызывать зарастание или закупорку отверстий фильтров скважин и не должна кольматировать поры нефтеносной породы в результате образования нерастворимых соединений при взаимодействии с пластовой водой и частицами породы, а также при изменении температуры. Поэтому в закачиваемой воде должно содержаться не более 0,2 мг/л железа, 1 мг/л взвешенных веществ, 1 мг/л нефтепродуктов и др. Бикарбонаты в закачиваемой воде должны содержаться в минимальной концентрации, так как при их распаде, который происходит при нагреве воды, образуется осадок карбоната кальция. Аналогичные явления наблюдаются, когда в закачиваемой воде присутствует растворенный кислород, который, окисляя железо (II) и сероводород, присутствующие в пластовой воде, способствует кольматации пор породы. Эти вопросы по качеству закачиваемой воды должны решаться индивидуально в зависимости от свойств пластовой воды, пористости призабойных зон и др.

Вода для нужд сельского хозяйства (птице- и зоофермы, для орошения, мелиорации и др.) по своему качеству должна соответствовать целевому назначению. Нормы качества воды принимают адекватно виду и возрасту животных. Например, для водопоя птиц, зверей и животных на фермах желательнее подавать воду питьевого качества. Водопой животных и птиц

водой непитьевого качества в каждом конкретном случае должен быть согласован с органами ветеринарного надзора.

1.6. Основные технологические процессы и схемы обработки воды. Выбор состава сооружений

Методы и технологическая схема обработки воды и, следовательно, состав водоочистных сооружений, прежде всего, зависят от ее исходного качества в источниках водоснабжения, а также объемов водопотребления населенного пункта и промышленных предприятий. Подбор и определение должно производиться на основании технологических изысканий непосредственно у источника водоснабжения, может быть на основании данных по эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных (местных) условиях. Окончательный вариант состава сооружений выбирается на основании технико-экономических расчетов различных вариантов. Предварительно состав очистных сооружений можно определить, руководствуясь рекомендациями [1, 3, 5, 7, 12]. При этом основные задачи очистных сооружений будут следующие:

1. Осветление и обесцвечивание воды – удаление всех видов взвешенных и коллоидных веществ, а также веществ, придающих какую-либо окраску воде (первая и вторая группа примесей).

2. Специальная обработка воды с целью удаления соединений молекулярного и растворенного состояния (третья и четвертая группа примесей). Например, снижение жесткости (умягчение воды), удаление растворимого железа (обезжелезивание воды) и т.д.

3. Обеззараживание воды – удаление болезнетворных и патогенных примесей с обеспечением надлежащего санитарного состояния водной среды. Эта задача характерна для подготовки воды хозяйственно-питьевого назначения.

Для удаления из воды гетерофазных примесей I группы (по Л.А. Кульскому) рекомендуется применять механическое их разделение в гравитационном поле или под действием центробежных сил, флотацию, фильтрование через мелкие сетки и пористые загрузки.

Устранение микрогетерофазных примесей II группы достигается окислением органических коллоидных веществ и высокомолекулярных соединений, адгезией и адсорбцией их на гидрооксидах алюминия и железа, агрегацией флокулянтами катионного типа, а для патогенных микроорганизмов и вирусов – окислительным, бактерицидным и вирулицидным воздействием.

Комплекс очистных сооружений, обеспечивающий протекание большинства перечисленных процессов, включает все необходимые типовые элементы, а именно: смесители, камеры хлопьеобразования, отстойники (осветлители со взвешенным осадком) или флотаторы, фильтры – при двухступенчатой схеме очистки, контактные осветлители или контактные фильтры – при одноступенчатой схеме.

Водопроводные очистные сооружения по производительности подразделяются:

- малые (до $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$);
- средней производительности (до $50000 \text{ м}^3/\text{сут}$);
- большой производительности (до $100000 \text{ м}^3/\text{сут}$);
- высокой производительности (свыше $100000 \text{ м}^3/\text{сут}$).

Приведенная на рис. 1.1 схема применяется при высокой мутности и цветности воды из поверхностного источника и является самой полной. На практике она обычно используется при мутности до 1500 мг/л и цветности до 120° . Если суточная производительность объекта не превышает $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$ (в нормативных документах ограничений нет), то применяют вертикальные отстойники. При производительности свыше $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$ и минимальной мутности более 50 мг/л успешно применяются осветлители со взвешенным осадком. При производительности больше $30000 \text{ м}^3/\text{сут}$ наиболее целесообразна схема с применением горизонтальных отстойников.

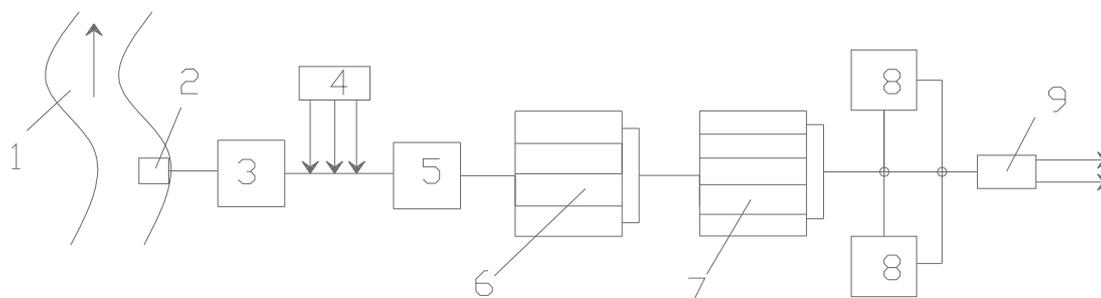


Рис. 1.1. Двухступенчатая схема обработки воды из поверхностного источника: 1 – река; 2 – водозаборные сооружения; 3 – насосная станция I-го подъема; 4 – сооружения для приготовления растворов реагентов; 5 – смесительное устройство; 6 – блок сооружений предварительного осветления воды (отстойники или осветлители со взвешенным осадком); 7 – фильтровальный блок; 8 – резервуары чистой воды (до РЧВ производят обязательное обеззараживание воды); 9 – насосная станция II-го подъема

Технологическая схема обработки воды из поверхностных источников, где наблюдается незначительный обмен воды, а именно из водохранилищ, озер или прудов, приведена на рис. 1.2.

Независимо от производительности водоочистной станции в такой технологической схеме, если мутность в исходной воде не превышает

50 мг/л, а цветность – 50°, могут быть использованы скорые фильтры с угольно-песчаной (керамзитовой) двухслойной загрузкой. Если мутность воды составляет до 120 мг/л, цветность – до 120°, то применяются контактные осветлители, а при мутности до 300 мг/л можно использовать двухступенчатое фильтрование (в качестве I-й ступени – контактный осветлитель, а II-й ступени – скорый фильтр).

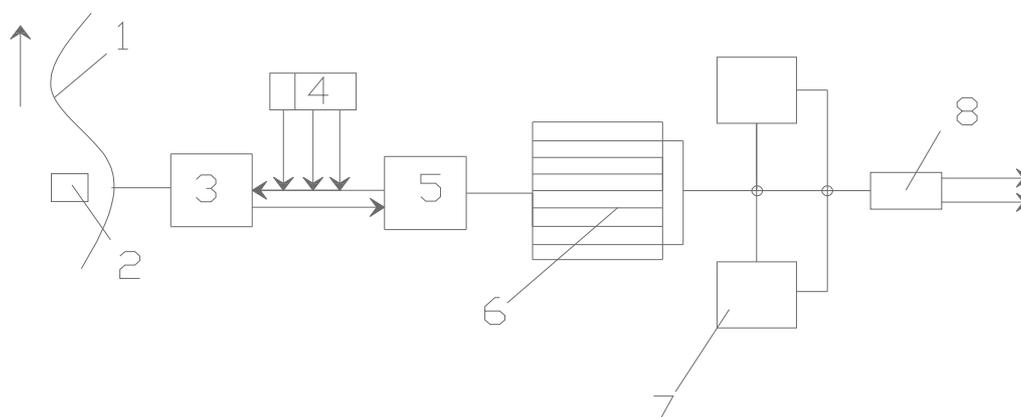


Рис. 1.2. Одноступенчатая схема обработки воды из поверхностного источника: 1 – открытый источник (река, озеро, водохранилище); 2 – водозаборные сооружения (могут быть совмещенные или нет с насосной станцией I-го подъема); 3 – сетчатые фильтры (барабанные сетки или микрофильтры); 4 – сооружения для приготовления растворов реагентов; 5 – входная камера; 6 – фильтровальный блок; 7 – резервуары чистой воды (до РЧВ производят обязательное обеззараживание воды); 8 – Насосная станция II-го подъема

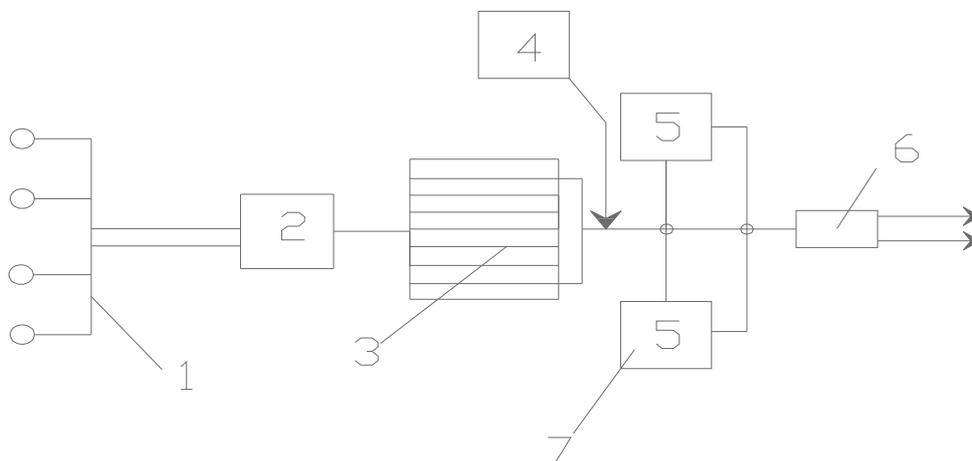
При удалении веществ молекулярного состояния, входящих в III группу примесей, используют десорбцию летучих соединений, окисление органических веществ, адсорбцию примесей на активированном угле и других сорбентах; экстракцию органическими растворителями; отгонку паром (эвапорацию) и др. Такие методы удаления примесей из воды являются специфичными, поэтому используется аппаратура специального назначения.

Для удаления растворенных микроэлементов и соединений (IV группа примесей) лучше использовать различные окислительные и ионные процессы. Например, фиксация на твердой фазе ионитов (H-Na-катионирование, OH-анионирование), перевод с помощью окислителей в малодиссоциированные или малорастворимые соединения (нейтрализация, комплексообразование), сепарация изменением фазового состояния воды с переводом ее в газообразное состояние (дистилляция) или в твердую фазу (вымораживание, гидратообразование); перераспределение ионов в жидкой фазе (экстракция, обратный осмос); подвижность ионов в электрическом поле и др.

Иногда достаточно применить метод аэрации воды, где кислород воздуха будет участвовать в окислительных процессах с образованием нерастворимых или малорастворимых соединений (удаление из воды железистых и марганцевых соединений). Установки, предназначенные для осуществления этих процессов, могут дополнять основные очистные сооружения.

Блок водоподготовки для удаления из воды железистых соединений представляет собой аэрационные системы и скорые фильтры, при необходимости добавляются реагенты-окислители. Если производится умягчение или обессоливание воды, то применяются специальные ионообменные фильтры, может быть предварительная реагентная обработка воды с последующим отстаиванием и фильтрованием. Для удаления растворенных газов используют дегазаторы или аэрационные бассейны, аэроокислители и т.д.

Часто основной задачей для обработки воды из открытых источников становится ее осветление и обесцвечивание, в этом случае водоочистные сооружения называют станциями осветления и обесцвечивания воды. Если из воды удаляются отдельные соединения или микроэлементы, что характерно в основном для подземных вод (рис. 1.3), то такие сооружения носят названия по виду удаляемого элемента: например, для удаления железа – станция обезжелезивания, для снижения жесткости – станция умягчения, для удаления солей – станции опреснения и обессоливания воды.



1.3. Технологическая схема обработки воды из подземного источника: 1 – скважинный водозабор; 2 – входная или распределительная камера; 3 – блок водоподготовки; 4 – хлораторная; 5 – резервуар чистой воды; 6 – насосная станция II-го подъема

В случае подготовки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения перед резервуарами чистой воды необходимо производить ее обеззараживание окислителями или бактерицидным облучением.

Основные методы водоподготовки приведены в [7, 12, 13].

ТЕМА 2. РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ

2.1. Общая характеристика реагентов, применяемых для обработки воды

Осветление и обесцвечивание воды заключается в удалении из нее взвешенных и коллоидных веществ, имеющих различную степень дисперсности.

Укрупнение частиц дисперсной системы и ускорение их осаждения и фильтрования производят при помощи коагулирования воды. При этом также происходит удаление коллоидных веществ, обуславливающих цветность воды, и некоторых видов планктона. Для интенсификации процесса коагуляции применяют первичное хлорирование (возможно с предварительной аммонизацией) или озонирование, подщелачивание и флокуляцию воды. Улучшение привкуса и запаха добиваются обработкой воды окислителями или активированным углем. Обеззараживание воды производят с помощью хлорирования или озонирования, а также бактерицидным облучением. При обработке воды, помимо указанных реагентов, в необходимых случаях применяют также кремнефтористый натрий, аммоний или аммиак, серноокислый газ и др.

Характеристика реагентов приведена в [7, 11, 13].

Виды реагентов и их дозы определяются на основании анализа качественного состава природной воды из источника водоснабжения [3, 4, 7, 11, 12, 13, 22, 23, 37, 39].

2.2. Основные сведения о коагуляции воды

Коагуляцией примесей воды называется процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частичек дисперсной системы и их объединения в агрегаты, происходящий в результате совместного взаимодействия межмолекулярных и электростатических сил (теория ДЛФО). Завершается этот процесс отделением агрегатов слипшихся частичек от жидкой фазы [1, 2, 3, 4, 7, 25].

Примеси и природную воду можно рассматривать как гетерофазную систему, в которой вода является дисперсионной средой, а масса распределенных частичек – дисперсной фазой. Эти частички представляют собой очень мелкие агрегаты кристаллического или аморфного строения. Благодаря огромной удельной поверхности они обладают весьма значительной поверхностной энергией, следовательно, и высокой адсорбционной емкостью. Это обстоятельство имеет большое значение, поскольку основной

процесс обработки воды – коагулирование – связан с адсорбцией на коллоидных частичках примесей, содержащихся в воде.

Коллоидные и взвешенные частички примесей природных вод в большинстве случаев имеют одинаковые заряды, что обуславливает их агрегативную устойчивость в дисперсных системах.

Коллоидная частичка вместе с окружающим ее диффузным слоем называется мицеллой (рис. 2.1). Если такой средой является вода, система называется гидрозоле. Например, мицелла $\text{Fe}(\text{OH})_3$ состоит из ядра, образованного молекулами $\text{Fe}(\text{OH})_3$, адсорбционно-связанных с ним потенциалобразующих водородных ионов ($n\text{H}^+$) и некоторого количества ионов хлора ($(n-x)\text{Cl}^-$), меньшего, чем ионов H^+ , в результате чего коллоидная частичка имеет положительный заряд. Ионы H^+ и входящие в состав частички противоионы Cl^- образуют двойной электрический слой (ДЭС) с разницей потенциалов на границах этого слоя, которая называется ξ -потенциалом и является мерой агрегативной устойчивости системы.

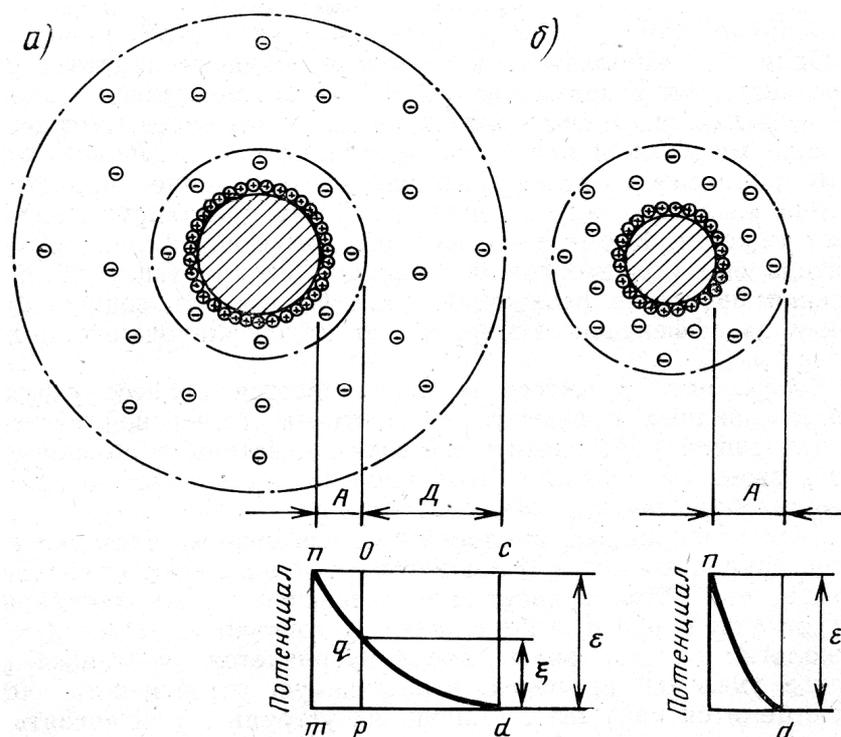


Рис. 2.1. Строение мицеллы при движении (а) и в покое (б): а – $\epsilon > 0$; б – изоэлектрическое состояние ($\xi = 0$); А – адсорбционный слой; Д – диффузный слой; ϵ – термодинамический потенциал; ξ – электрокинетический потенциал (дзета-потенциал)

Изменение значения ξ -потенциала при сжатии диффузного слоя показано на рис. 2.2 (по оси абсцисс отложены расстояния от поверхности частички, по оси ординат – значения ξ -потенциалов). Степень влияния ио-

нов зависит от их концентрации, валентности и размеров: чем выше концентрация ионов и их валентность, тем больше сжатие диффузного слоя, а следовательно, тем сильнее эти ионы снижают устойчивость коллоидных частичек.

Известно, что коллоидные частички находятся в постоянном движении. При этом часть окружающего частичку раствора увлекается и движется вместе с ней в виде тонкой пленки. При движении коллоидная частичка в электрическом поле увлекает часть раствора, ограниченную на рис. 2.2 линией AB , а часть ионов диффузного слоя, расположенных между линиями AB и CD , отрывается от частички. При этом она становится отрицательно заряженной, а окружающий ее раствор приобретает положительный заряд.

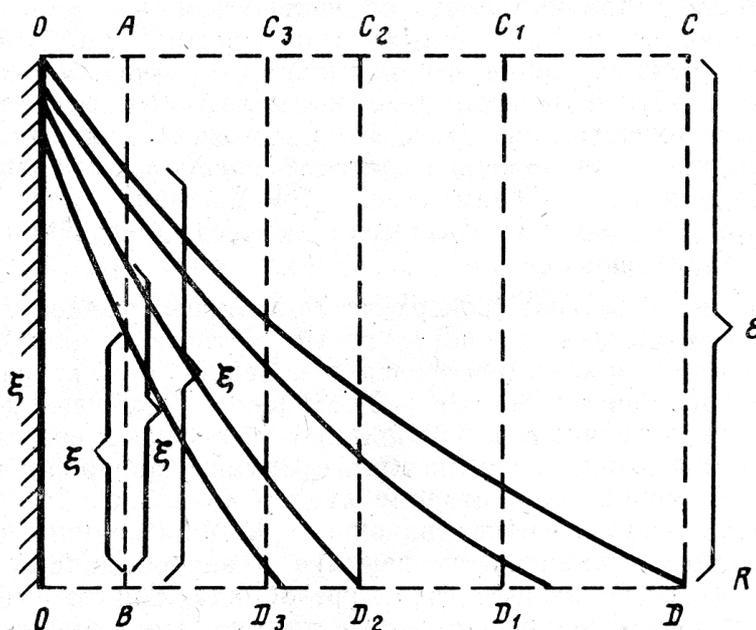


Рис. 2.2. Влияние электролитов на ξ -потенциал: AB – поверхность скольжения; CD – граница диффузного слоя при наиболее низкой концентрации электролитов; C_3D_3 – граница диффузного слоя при наиболее высокой концентрации электролитов

Скачок потенциала, возникающий при этом между частью жидкости, увлекаемой коллоидной частичкой и остальным раствором, называется электрокинетическим, или ξ -потенциалом, который изменяется при прибавлении к коллоидным системам электролитов. Для отрицательно заряженных частичек ξ -потенциал зависит от величины заряда катионов электролита, а для положительно заряженных частичек – от величины заряда анионов.

С прибавлением электролитов концентрация ионов в диффузном слое увеличивается, и для компенсации зарядов на поверхности частичек требуется меньший объем диффузного слоя (т.е. происходит как бы его сжатие). Сжатие может дойти до такой степени, что диффузный слой не будет выходить за пределы линии, ограничивающей поверхность скольжения коллоидной частички при ее движении. Когда диффузный слой сожмется до размера, ограниченного линией AB , ξ -потенциал станет равным нулю.

Основная задача удаления примесей (частичное или полное) состоит в нарушении устойчивости системы под каким-то внешним воздействием, которое может быть различным (например, повышение температуры воды вплоть до кипения). Но чаще всего в воду вводят электролит, который понижает ξ -потенциал до нуля и вызывает коагуляцию. Чтобы не нарушить стабильность, эти электролиты по возможности должны быть нейтральны по отношению к воде.

Это достигается добавлением к воде каких-либо веществ, которые называются коагулянтами; они либо непосредственно нарушают агрегативную устойчивость системы, либо образуют вследствие гидролиза коллоиды, сорбирующие примеси из воды.

К таким веществам-коагулянтам можно отнести различные растворимые соли металлов, но не все они отвечают требованиям безопасности и эффективности удаления примесей. В практике водоподготовки наибольшее распространение получили соли алюминия и железа, например, сульфаты алюминия и железа (III), хлорид алюминия, хлорид железа (III), алюминат натрия, оксихлорид алюминия и др.

Таким образом, потеря агрегативной устойчивости дисперсной фазы происходит в том случае, если под внешним воздействием электролитами происходит сжатие двойного электрического слоя (ДЭС) с уменьшением ξ -потенциала, причем при значении ξ -потенциала, равном нулю, происходит полная потеря этой устойчивости и идет эффективная (мгновенная) коагуляция. Для некоторых видов частиц коагуляция может начинаться и при какой-то величине этого потенциала ($\neq 0$). Например, для глинистых частиц $\xi = \pm 40$ мВ уже может вызвать быструю коагуляцию. Такая величина ξ -потенциала называется порогом коагуляции.

В этот момент коллоидные частички будут находиться в изоэлектрическом состоянии (изоэлектрическим состоянием называется состояние золя, при котором коллоидные частички не имеют электрического заряда). В результате устраняются причины, препятствовавшие их сближению, коллоидные частички, соединяясь, образуют сравнительно крупные агре-

гаты, которые начинают осаждаться, т.е. коагуляция частиц начинается в изоэлектрической точке.

Коагуляция коллоидов протекает под влиянием сложной смеси электролитов, находящихся в воде, и под влиянием ионов, вносимых в воду вместе с коагулянтом. Так, в случае применения $Al_2(SO_4)_3$ в воду вносят значительные количества ионов SO_4^{2-} .

Если в качестве коагулянта используется $FeCl_3$, в очищаемой воде повышается содержание ионов Cl^- . Наличие смеси электролитов усложняет коагуляцию, поскольку при этом эффекты влияния отдельных коагулирующих ионов усиливаются или ослабляются.

Коагуляция коллоидов вызывается не только электролитами, но и взаимодействием противоположно заряженных коллоидов, наступающим при адсорбции одного коллоида поверхностью другого. Этот процесс играет некоторую роль при осветлении воды коагулированием. Необходимым условием взаимной коагуляции является равенство противоположных зарядов частичек золь. При несоблюдении этого условия коагуляция протекает либо неполно, либо вовсе не наступает, независимо от количества прибавленного коагулирующего коллоида. Отсюда следует, что взаимная коагуляция коллоидов может протекать лишь в узкой зоне соотношения их концентраций.

Большинство коллоидов природных вод в отличие от золь коагулянтов заряжено отрицательно. К таким коллоидам относятся распространенные в природных водах кремниевая кислота, глинистые мельчайшие и почвенные частички, а также гумусовые вещества. Глинистые и почвенные взвеси состоят в основном из гидроалюмосиликатов.

При растворении и гидролизе коагулянтов (солей железа или алюминия) происходит образование их гидроксида, который мало растворим в воде и начинает выделяться из нее на примесях (центрах кристаллизации) в виде хлопка, увеличивающегося с течением времени. В конечном итоге хлопки коагулянта имеют довольно значительные размеры с очень активной поверхностью и противоположным электрическим зарядом, чем примеси в воде. В результате имеем суммирующее влияние молекулярных и электростатических сил притяжения между хлопком коагулянта и примесями; последние адсорбируются на поверхности этого хлопка.

2.3. Коагуляция воды солями алюминия и железа

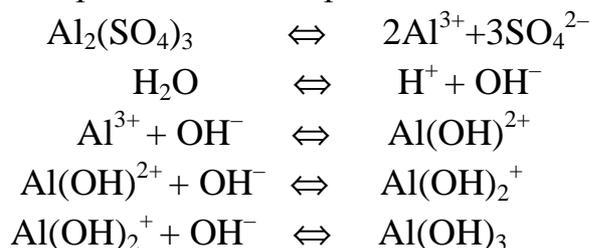
Алюмосодержащие коагулянты представляют собой следующие вещества: $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ (сернокислый алюминий или глинозем) с содер-

жанием активной части по Al_2O_3 в зависимости от сорта 33,5...45 %: $Al(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ (оксихлорид алюминия) – 40...45 %, $NaAlO_2$ (алюминат натрия) – 55 %.

Наиболее распространенным является **серноокислый алюминий**, достаточно эффективный и дешевый коагулянт, который получается путем пропуска паров серной кислоты через раскаленные бокситы. На водочистные сооружения серноокислый алюминий поступает трех сортов: первый – гранулированный и порошкообразный белого цвета с содержанием по активной части до 45 %, второй – плиточный белого цвета (40 %) и третий, применяемый наиболее часто, – комовой, неочищенный серого цвета (33,5 %). При длительном хранении навалом в складских помещениях, ввиду гигроскопичности, этот коагулянт может слеживаться и образовывать глыбы. Кроме того, коагулянт имеет способность разлагаться с потерей своих коагулирующих свойств.

Коагулирующая способность глинозема зависит от величины рН и температуры обрабатываемой воды.

В области нейтральных значений величины рН (6...8) гидролиз соли $Al_2(SO_4)_3$ происходит с образованием гидроксида алюминия:



Гидроксид алюминия является искомым коагулирующим веществом (хлопком коагулянта).

Если гидролиз соли проводить при низких значениях величины рН, то образуется значительная доля соединений с группой AlO_2^- , которые не являются коагулирующим веществом. В то же время при высоких значениях рН образуется окись алюминия Al_2O_3 , обладающая низкой коагулирующей способностью.

Установлено, что при низких температурах воды (< 6°C) коагуляция серноокислым алюминием практически не происходит. Молекулы воды, а также частицы ее примесей находятся в тепловом броуновском движении, интенсивность которого прямо пропорциональна температуре воды. После введения коагулянта $Al_2(SO_4)_3$ и нарушения агрегативной устойчивости частиц примесей в воде наступает процесс их агломерации. Очевидно, что вероятность соударения отдельных частиц между собой и их последующая агломерация зависят от теплового броуновского движения и скорости вза-

имного перемещения. Процесс коагулирования примесей воды заканчивается образованием первичных агрегатов, для дальнейшего передвижения которых при низких температурах энергии теплового броуновского движения будет уже недостаточно.

Алюминат натрия представляет собой вещество белого цвета гранулированного или порошкообразного состава. Является очень эффективным коагулянтом, не зависящим от величины рН и температуры обрабатываемой воды.

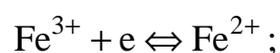
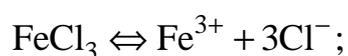
Диоксид алюминия поступает в виде концентрированного 35 %-ного раствора в деревянных или металлических бочках с содержанием активной части до 45 %. В результате гидролиза соли хлориды частично образуют ион гипохлорита, который участвует в окислении органических соединений и повышает эффективность коагуляции.

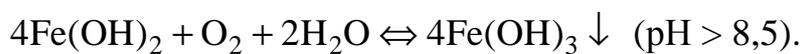
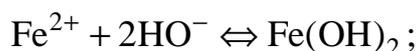
Данные вещества, несмотря на их значительную коагулирующую способность, имеют высокую стоимость и применяются лишь при соответствующем обосновании.

Железосодержащие коагулянты обычно используют для специальной обработки воды, например, в реagentных методах удаления общей жесткости, т.к. их коагулирующая способность проявляется наиболее полно при высоких значениях величины рН (> 8,5). Среди этой группы коагулянтов часто применяются сернокислое железо (железный купорос) $\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и хлорное железо FeCl_3 .

Железный купорос или **хлорное железо** получают путем обработки железного лома парами серной или соляной кислоты. На станцию поступают в виде кусков (гранул) зеленовато-желтого цвета либо в концентрированном состоянии (35 %) от красного до бурого цвета в деревянных или металлических бочках.

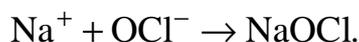
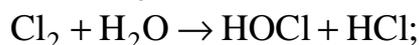
Основной особенностью гидролиза солей является первоначальное образование закиси железа (II) с последующим переходом в окись (III). По правилу Шульца – Гарди коагулирующая способность катиона возрастает с увеличением его валентности, например, коагулирующая способность ионов трехвалентного железа Fe^{3+} в сотни раз больше, чем двухвалентного Fe^{2+} .





искомое
коагулирующее вещество

Более высокая эффективность применения хлорного железа FeCl_3 заключается в том, что при гидролизе этой соли происходит ряд реакций, которые усиливают процесс коагуляции.



Образование иона гипохлорита в свободной или связанной форме способствует окислению органических веществ в воде (сочетание двух сильных окислителей – атомарного кислорода и хлора), в результате чего улучшаются условия проведения процесса коагуляции.

По эксплуатационным данным железосодержащие коагулянты могут работать при любой температуре обрабатываемой воды. Хлопья гидрооксида железа примерно в 1,5 раза тяжелее, чем алюминия, следовательно, их легче удалить из водной среды.

Для обработки воды с низкими температурами в области нейтральных значений величины рН используют смешанный коагулянт $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и FeCl_3 в пропорции 1:1.

2.4. Определение дозы коагулянта

Правильный выбор дозы коагулянта имеет первостепенное значение для коагулирования примесей воды. Под дозой коагулянта подразумевается определенное массовое количество реагента, которое добавляется к единице объема обрабатываемой воды. Доза коагулянта измеряется в мг/л, г/м³.

Доза выбранного типа коагулянта для обработки воды зависит от ее мутности и цветности, причем для цветных эта доза выше, чем для мутных вод. Поэтому дозу реагента определяют дважды: для мутности и для цветности, а за расчетное принимается наибольшее значение.

Наглядное представление о влиянии дозы коагулянта на процессы осветления и обесцвечивания воды дает коагуляционная кривая (рис. 2.3). Ее можно разбить на три зоны. В первой зоне при малых дозах коагулянта эффект осветления и обесцвечивания воды отстаиванием или фильтрова-

нием незначителен. Во второй зоне увеличение дозы коагулянта резко сказывается на эффекте осветления и обесцвечивания воды. Граница между первой и второй зонами носит название порога коагуляции. В третьей зоне увеличение дозы коагулянта не дает заметного улучшения эффекта осветления и обесцвечивания воды. Кривая практически параллельна оси абсцисс. Граница между второй и третьей зонами носит название оптимальной дозы.

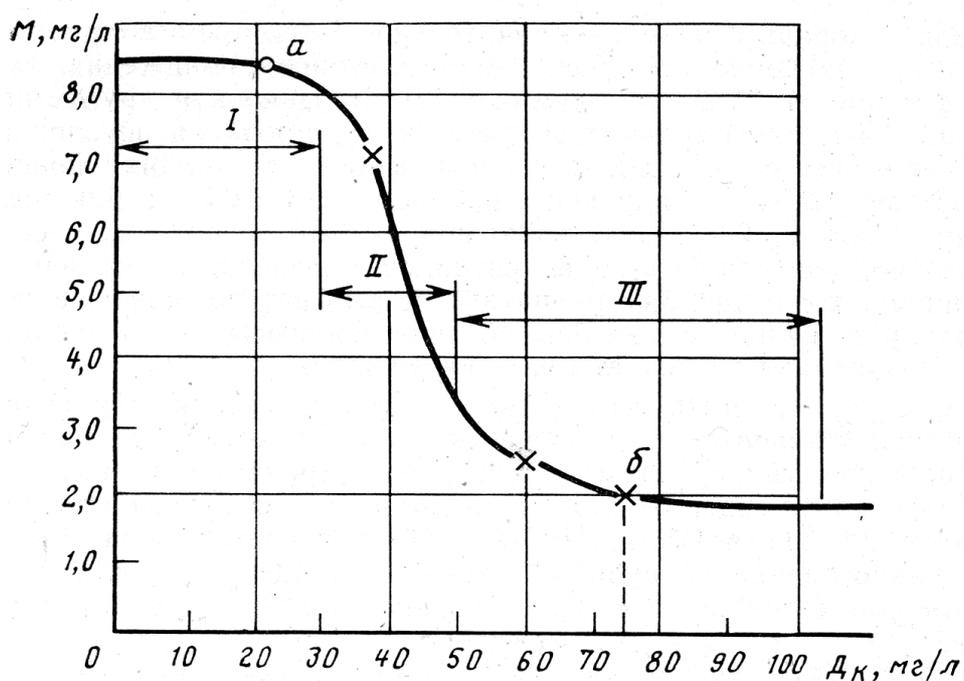


Рис. 2.3. Коагуляционная кривая снижения мутности от дозы коагулянта:
а – порог коагуляции; б – оптимальная доза

Все характерные точки коагуляционной кривой (порог коагуляции, оптимальная доза, размеры зон) зависят от качества и свойств исходной воды. Не существует единой коагуляционной кривой, но характер их одинаков.

На водоочистных сооружениях дозу коагулянта определяют экспериментальным путем раз в декаду (во время паводка чаще – раз в 2...3 дня). Предварительно для расчетов реагентного хозяйства дозу сернокислого алюминия по мутности исходной воды принимают по таблице [1, 3, 5, 11], а также рассчитывают по цветности:

$$D_k = 4\sqrt{C}, \text{ мг/л.}$$

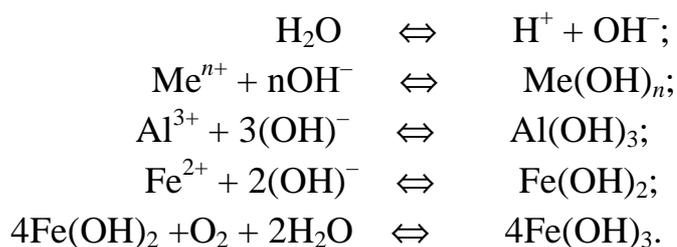
За расчетную величину принимается наибольшее из двух значений.

Коагулянт обычно вводят перед смесительными устройствами или во входную камеру, но возможен и ввод по частям, например, перед вышеуказанными сооружениями, а также перед фильтрами (две точки ввода). Иногда

используется прерывистое введение коагулянта перед смесителем. В каждом конкретном случае должно быть сделано обоснование дозы и места ввода коагулянта, желательное подтвержденное экспериментальными данными.

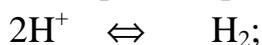
2.5. Электролитическая коагуляция воды

Если в воду опустить металлические электроды и подсоединить к постоянному току, то с анода в воду будут переходить ионы этого металла Me^{n+} (согласно теории коррозии металлов). Совместно с группой OH^- образуется его гидроксид (степень диссоциации воды в поле электрического тока резко увеличивается), который является искомым коагулирующим веществом.

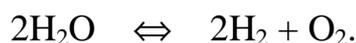


Одновременно под действием постоянного электрического тока происходят следующие химические реакции, которые усиливают процесс коагуляции:

- образование газообразного водорода и протекание процесса флотации:



- образование свободного или связанного иона гипохлорита;
- прямое разложение воды (реакция протекает незначительно и медленно):



Таким образом, коагулирующее вещество – гидроксид металла $Me(OH)_n$ выделяется непосредственно в объеме обрабатываемой воды, т.е. отсутствует стадия гидролиза соли, а также вся технологическая цепочка по приготовлению раствора реагента и его дозированию в воду. Если используются алюминиевые электроды, то образуется $Al(OH)_3$, если железные, – в воду переходят сначала ионы двухвалентного металла Fe^{2+} с образованием $Fe(OH)_2$ и только затем образуется его гидроксид $Fe(OH)_3$.

Данный метод нашел применение для обработки малых количеств воды хозяйственно-питьевого назначения и для подготовки воды в производственных целях. Основными недостатками являются использование листовых металлических электродов; большие энергозатраты; большая вероятность возникновения пассивации металлических электродов, т.е. прекращения перехода тока металла в раствор и, следовательно, прекращения самого процесса коагуляции.

Пассивация электродов может быть пленочной и адсорбционной. В первом случае поверхность электродов покрывается сплошной непрерывной пленкой, состоящей из окислов этих металлов (Al_2O_3 или FeO , Fe_2O_3), во втором – адсорбционным газовым слоем (кислородом). На практике эти

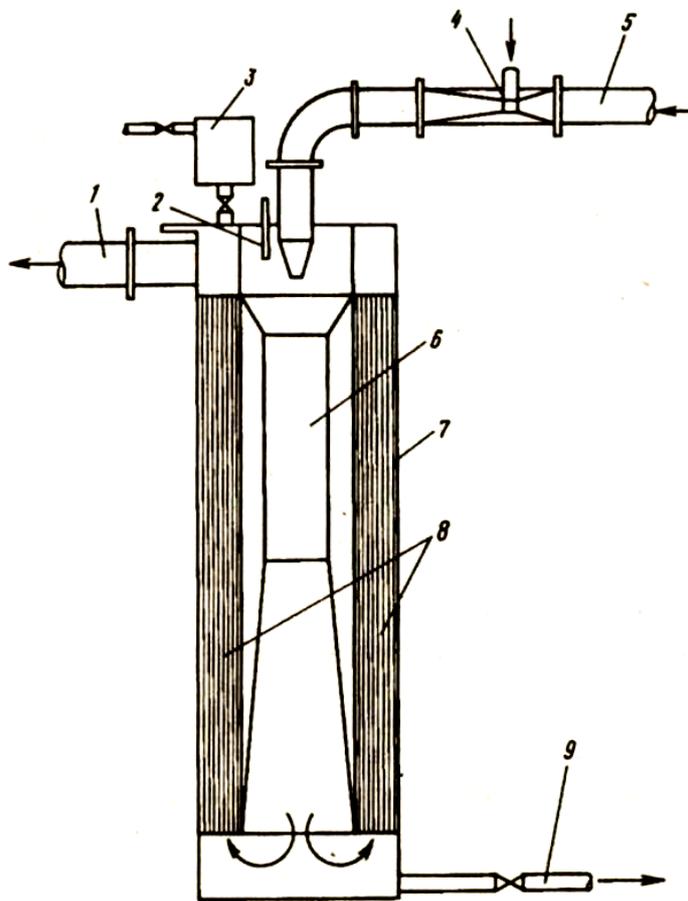


Рис. 2.4. Электрокоагулятор: 1, 5 – отвод и подача обрабатываемой воды; 2 – ввод окислителя или раствора хлористого натрия (вариант); 3 – дозатор щелочного реагента (вариант); 4 – эжектор для подачи воздуха; 6 – диффузор; 7 – корпус аппарата; 8 – цилиндрические электроды; 9 – опорное устройство аппарата

Основными характеристиками процесса электрокоагуляции являются продолжительность обработки воды (до 15 мин) и сила тока

$$I = i \cdot F, \text{ А,}$$

где i – плотность тока, А/м^2 . Для алюминиевых и железных электродов эта величина составляет $50 \dots 200 \text{ А/м}^2$; F – активная площадь анодных электродов, м^2 .

Напряжение в межэлектродном пространстве поддерживают до 36 В.

два вида пассивации действуют, как правило, совместно. Для предотвращения этого явления производят переполюсовку электродов через $0,5 \dots 3$ мин (не всегда приводит к положительным результатам), механическую зачистку активной поверхности электродов (усложняет конструкцию электролизеров), вводят в воду вещества – депассиваторы, например, раствор хлористого натрия NaCl . Хлориды разрушают окисную пленку или вытесняют адсорбированный на поверхности кислород. Это очень эффективный метод, но для обработки воды в питьевых целях малоприменимый, т.к. существует жесткое ограничение по концентрации хлоридов ($< 350 \text{ мг/л}$).

Сооружения и аппараты, в которых проводится электрокоагуляция, получили название электрокоагуляторов (рис. 2.4).

2.6. Контактная коагуляция

Контактной коагуляцией называется процесс осветления и обесцвечивания воды, заключающийся в адсорбции примесей с нарушенной агрегативной устойчивостью на поверхности зерен контактной массы. Такой вид коагуляции широко используется в контактных осветлителях (КО), контактных фильтрах (КФ) и осветлителях со взвешенным осадком (ОВО).

В основе процессов лежат Ван-дер-ваальсовы силы межмолекулярного притяжения, которые проявляются при таком движении жидкости, когда мелкие скоагулированные частицы сближаются с зернами контактной массы, даже если необходимо преодолевать при этом электростатические силы отталкивания. Интенсивность прилипания мелких примесей к относительно крупным зернам контактной массы намного превосходит скорость агломерации этих примесей между собой в свободном объеме воды. В качестве контактной массы могут быть зерна какого-либо материала (например, загрузка фильтров) или ранее укрупнившиеся частицы.

В случае если частицы скоагулированной взвеси и крупные зерна имеют разноименные заряды, то эффективность контактной коагуляции возрастает, т.е. в данном случае наблюдается положительное суммарное воздействие молекулярных и электростатических сил притяжения (рис. 2.5).

Также эффект контактной коагуляции повышается по мере сокращения интервала между вводом коагулянта в обрабатываемую воду и ее поступлением в слой контактной массы.

Как показывает практика, при одинаковой конечной эффективности процесса доза коагулянта при контактной коагуляции снижается на 10...15%. Еще одной особенностью контактной коагуляции является независимость этого процесса от щелочности и температуры воды.

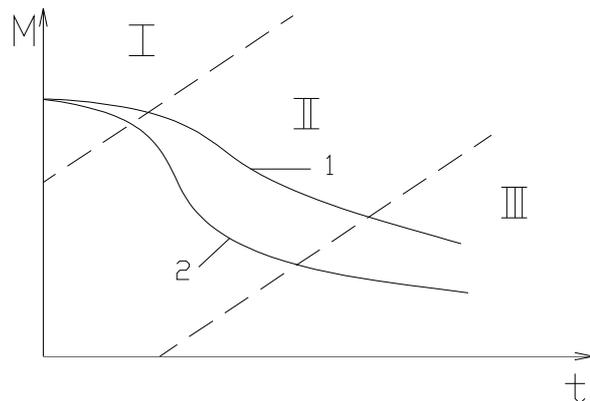
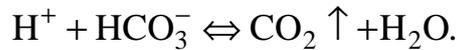


Рис. 2.5. Кривая снижения мутности воды в зависимости от продолжительности ее обработки: 1 – обычная коагуляция; 2 – контактная коагуляция

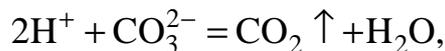
2.7. Подщелачивание воды

Различают три формы щелочности: бикарбонатную (HCO_3^-), карбонатную (CO_3^{2-}), и гидратную (OH^-). Под общей щелочностью воды подразумевают их сумму. При введении в обрабатываемую воду коагулянта, например, сульфата алюминия, образуется гидроксид алюминия, который при обычных значения рН воды не только коагулирует сам, но вызывает коагуляцию агрегативно устойчивых примесей воды путем взаимной адсорбции. Нижеприводимые реакции показывают влияние щелочности на процесс гидролиза сульфата алюминия:



Выделяющиеся при гидролизе сульфата алюминия ионы водорода понижают рН воды и, сдвигая его значение от изоэлектрической точки коагуляции гидроксида алюминия, ухудшают условия коагуляции.

Одновременно избыток ионов водорода прекращает процесс гидролиза сульфата алюминия:



Для протекания процесса коагулирования примесей воды необходимо наличие достаточного щелочного резерва. Критерием достаточности естественной щелочности воды может служить следующее выражение:

$$\Delta\text{Щ} = \frac{\text{Щ}_0 (10^{\text{pH}} - 1)}{1 + k_1 \cdot 10^{\text{pH}_0 + \Delta\text{pH}} + \mu^{0,5}} \quad (\text{при } \text{pH} < 8,5),$$

где $\Delta\text{Щ}$ – доза щелочи (при подщелачивании) или кислоты (при подкислении), мг-экв/л; Щ_0 – щелочность исходной воды, мг-экв/л; pH_0 – величина рН исходной воды; ΔpH – величина, на которую нужно изменить рН воды (при подщелачивании рН величина положительная, а при подкислении – отрицательная); k_1 – константа I степени диссоциации H_2CO_3 ; μ – ионная сила раствора.

Низкая щелочность исходной воды наблюдается, если выполняется следующее условие:

$$D_k/e_k > \text{Щ},$$

где D_k – доза коагулянта, мг/л, e_k – эквивалентная масса, эквивалент коагулянта.

В этом случае для обеспечения успешной коагуляции примесей и восстановления величины рН приходится подщелачивать воду, поэтому в нее одновременно с коагулянтom вводят **известь** или **соду** в количествах, определяемых по формуле

$$D_{щ} = K \left(\frac{D_k}{e_k} - Щ + 1 \right),$$

где K – коэффициент, равный для извести (по СаО) – 28 и для соды (по Na_2CO_3) – 53.

При отрицательной величине $D_{щ}$ подщелачивание не требуется.

2.8. Флокуляция воды

Флокуляция воды представляет собой процесс укрупнения скоагулированных частиц за счет их присоединения к высокомолекулярным веществам – флокулянтам, которые могут быть минерального и органического характера. При подаче флокулянта в воду образуются длинные молекулярные цепочки, к многочисленным центрам которых прикрепляются хлопья коагулянта. Такая структура агрегативной цепочки обладает значительной массой, которую гораздо легче выделить из воды, т.е. флокулянт по своему характеру и действию усиливает эффективность коагуляции в процессе удаления мелкодисперсной взвеси. По своему действию флокулянты подразделяются на монофункциональные (используются как дополнение к коагуляции) и полифункциональные (одновременно являются коагулянтами и флокулянтами).

В практике водоподготовки для населенных мест широкое распространение получил монофункциональный флокулянт анионного типа **полиакриламид** (ПАА), макроион которого имеет отрицательный заряд, и он может использоваться только с минеральными коагулянтами. Дозы ПАА могут колебаться в пределах 0,01...2,0 в зависимости от места ввода и состава очистных сооружений. На водоочистные сооружения ПАА поступает в бочках или полиэтиленовых мешках в виде 35 %-ного гелевого раствора желто-красного цвета. Из него сначала готовят 1 %-ный раствор, а затем разбавляют водой до 0,25 % и вводят в обрабатываемую воду после коагулянта с разрывом по времени 2...3 мин.

В ряде случаев применяют **активированную кремниевую кислоту** (АК), которая по своим действиям аналогична ПАА, но может изменять физико-химические свойства хлопьев коагулянта и снижает грязевую на-

грузку на фильтры, т.е. более благоприятно влияет на процесс осветления воды. Доза АК зависит от места ввода, температуры воды и составляет 0,2...5 мг/л [3, 7, 12].

Наряду с перечисленными, для обработки мутных вод применяют **флокулянты типа «К»** в дозах 0,5...2 мг/л, которые представляют собой полифункциональные полимеры амфотерного типа, содержащие в своем составе продукты обработки полиакрилонитрида едким натром (К-4) или моносиликатом натрия (К-6). Они поступают на очистные сооружения в виде вязкой густой (10...16 %) бесцветной пасты, хорошо и быстро растворяющейся в воде с образованием щелочных растворов.

В качестве полифункциональных флокулянтов, при соответствующем обосновании (более дорогие, чем обычные), можно применять **флокулянты катионного типа «В»** (ВА-2, ВА-3, ВА-102 и т.д.), которые действуют самостоятельно и связывают взвешенные и коллоидные вещества в воде в прочные полимерные мостики. Доза реагентов равна 0,75...3 мг/л. Эффект применения этих флокулянтов выше, чем при совместном использовании коагулянта и ПАА. При этом не изменяется щелочность воды и не образуются привкусы и запахи.

ТЕМА 3. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРОВ РЕАГЕНТОВ

В практике проектирования и эксплуатации водоочистных комплексов известны две схемы организации реагентного хозяйства. Первая схема предусматривает получение с заводов-поставщиков готовой продукции, которую затем при помощи дозаторов вводят в обрабатываемую воду; вторая основана на получении с заводов полуфабрикатов, нуждающихся в дальнейшей обработке и доведении до продукта, удобного для дозирования.

Применяемые при обработке воды реагенты вводятся в нее в виде порошков или гранул (сухое дозирование) либо в виде водных растворов или суспензий (мокрое дозирование). Оба способа дозирования требуют организации на водоочистном комплексе реагентного хозяйства. В первом случае должны быть предусмотрены склад готовой продукции и дозаторы сухих веществ (смесей); во втором – учитывая, что реагенты поступают в виде полуфабрикатов, кроме склада необходимо иметь оборудование для приготовления растворов (или суспензий) реагентов и их дозирования в обрабатываемую воду. При этом возможно складирование реагентов в сухом виде навалом или в специальной таре либо в виде высококонцентрированных растворов в специальных емкостях.

3.1. Сооружения для приготовления растворов коагулянтов

Для приготовления раствора коагулянта на водоочистных сооружениях применяют две основные технологические схемы.

Первая схема (рис. 3.1) предусматривает хранение коагулянта на складе, который по мере необходимости тельфером, транспортером или тележкой загружается в растворные баки. Приготовленный концентрированный раствор (до 24 %) направляется в расходные баки, где разбавляется водой до 17 % и дозируется в обрабатываемую воду перед смесительным устройством. Такая схема в основном применяется для станций малой производительности; ее недостатком является то, что коагулянт при длительном хранении, особенно во влажном помещении, вследствие насыщения влагой может терять свои коагуляционные свойства, а также слеживаться в отдельные глыбы, которые перед растворением приходится разбивать.

Во избежание потерь коагулянта от слеживания, а также трудоемких погрузочно-разгрузочных работ при доставке коагулянта и работ по загрузке растворных баков в настоящее время широко распространено хранение коагулянта в жидком виде.

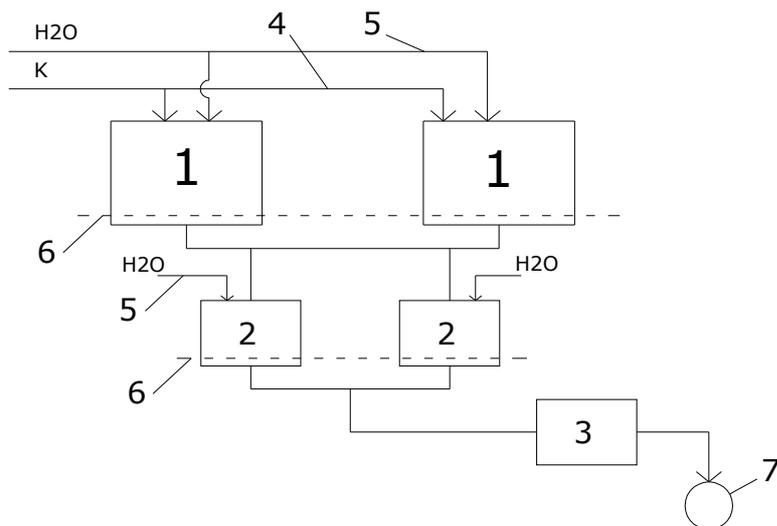


Рис. 3.1. Схема приготовления раствора коагулянта при его хранении в складских помещениях: 1 – растворные баки; 2 – расходные баки; 3 – дозирующее устройство; 4 – подача коагулянта со склада; 5 – подвод воды на растворение и разбавление коагулянта (желательно с температурой не менее 25 °С); 6 – подача сжатого воздуха для перемешивания раствора коагулянта; 7 – трубопровод обрабатываемой воды

По второй схеме (рис. 3.2) привезенный на станцию коагулянт, минуя склад, загружается в баки для растворения. Затем в виде концентрированного раствора (до 24 %) насосами перекачивается в специальные баки-хранилища, где хранится 20...30 суток. По мере необходимости из этих баков раствор перекачивается в растворные баки, где разбавляется водой до рабочей концентрации (17 %) и дозируется в обрабатываемую воду.

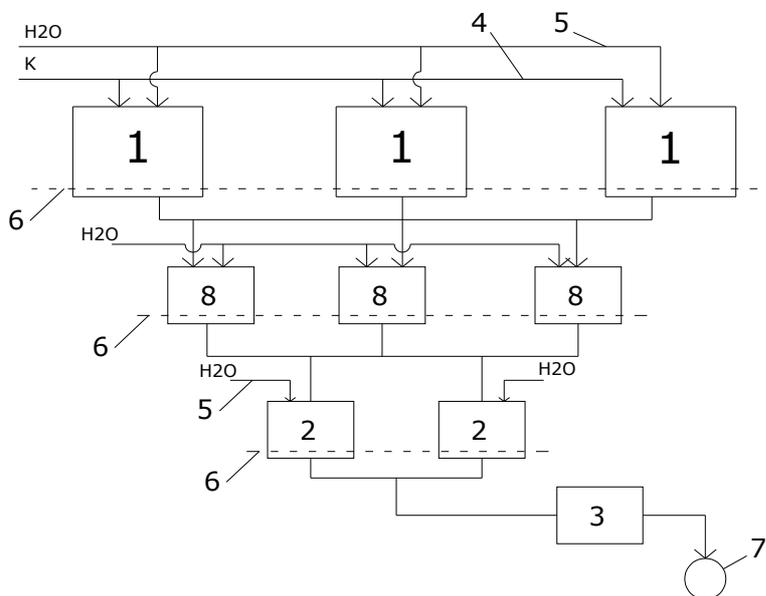


Рис. 3.2. Схема приготовления раствора коагулянта при его мокром хранении: 1 – растворные баки; 2 – расходные баки; 3 – дозирующее устройство; 4 – подача коагулянта со склада; 5 – подвод воды на растворение и разбавление коагулянта (желательно с температурой не менее 25 °С); 6 – подача сжатого воздуха для перемешивания раствора коагулянта; 7 – трубопровод обрабатываемой воды; 8 – баки-хранилища раствора коагулянта

Такая схема приготовления раствора коагулянта является более сложной, чем первая, но она не имеет недостатков первой схемы и успешно применяется на водоочистных станциях средней и большой производительности. В этом случае для работы станции необходимо большое коли-

чество коагулянта, и он привозится в вагонах емкостью 40...60 тонн на ближайшую ж/д станцию. Время разгрузки коагулянта принимается до 3 суток, в течение которых он перевозится автотранспортом на станцию и загружается в растворные баки. При второй схеме должен предусматриваться неприкосновенный запас коагулянта в сухом виде на складе, рассчитанный на его использование в течение 10...15 суток.

Конструкции растворных и расходных баков приведены на рис. 3.3 и 3.4.

На водоочистных сооружениях небольшой пропускной способности (до 1000 м³/сут) применяют совмещенные растворно-расходные баки (рис. 3.3). Куски коагулянта загружают в растворный бак с днищем из деревянных колосников, а насыщенный раствор коагулянта поступает через днище в расходный бак. В этот же бак добавляют водопроводную воду для разбавления раствора до требуемой концентрации.

Для ускорения растворения реагента по пластмассовой трубе подают сжатый воздух под колосники. Сжатый воздух поступает также в систему дырчатых труб, уложенных по дну расходного бака, для перемешивания раствора и поддержания равномерной его концентрации.

Совмещенный растворно-расходный бак должен иметь два отделения, чтобы подача раствора не прерывалась, когда идет его приготовление в одном из отделений. Реагентные баки могут быть размещены на верхнем этаже здания, что обеспечивает самотечную подачу раствора к месту его ввода в обрабатываемую воду. Реагент подается на верхний этаж специальным подъемником.

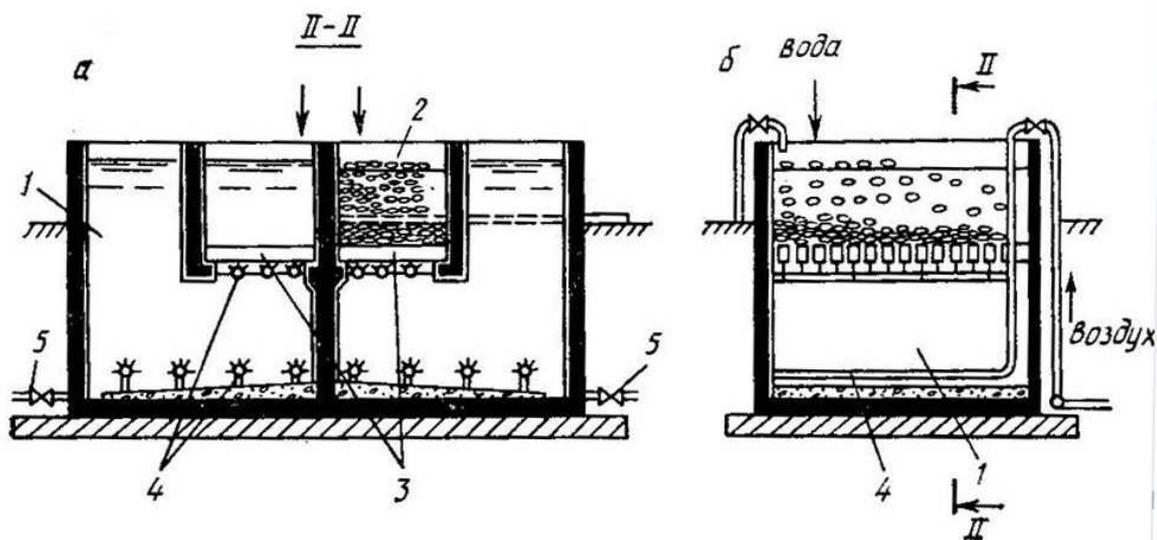


Рис. 3.3. Совмещенный растворно-расходный бак: а – продольный разрез; б – поперечный; 1, 2 – соответственно растворный и расходные баки; 3 – колосниковая решетка; 4 – перфорированные воздухораспределительные трубы; 5 – спускная труба

На очистных комплексах средней и большой пропускной способности устанавливают отдельно растворные и расходные баки (рис. 3.4, 3.5) с наклонным или пирамидальным днищем и деревянными или железобетонными колосниками внизу бака, на которые загружают куски коагулянта. Баки-хранилища концентрированного раствора коагулянта могут совмещаться с растворными баками или устанавливаться отдельно (рис. 3.6).

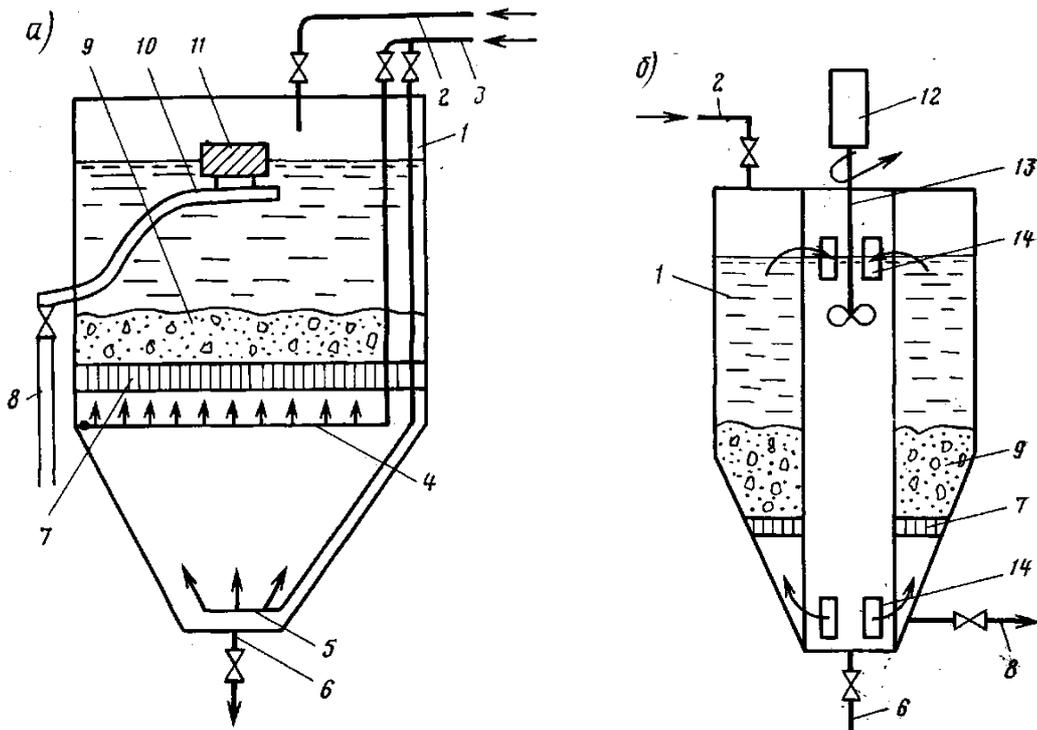


Рис. 3.4. Баки приготовления раствора коагулянта с воздушным (а) и механическим (б) побуждением: 1 – корпус; 2, 3 – подача воды и сжатого воздуха; 6 – выпуск осадка; 4, 5 верхняя и нижняя воздухораспределительная система; 7 – колосниковая решетка; 8 – отвод раствора коагулянта; 9 – коагулянт; 10 – шланг; 11 – поплавок; 12 – электродвигатель; 13 – ось мешалки; 14 – окна для циркуляции раствора

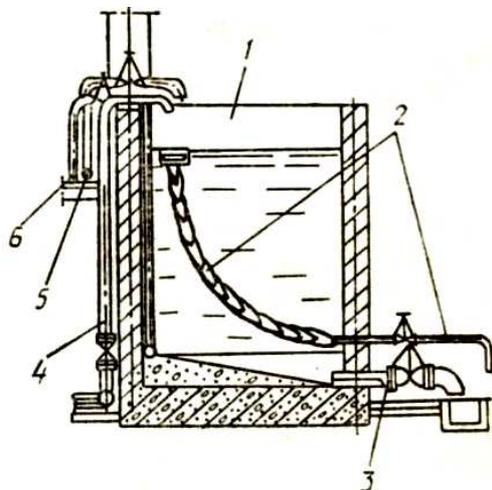


Рис. 3.5. Расходный бак: 1 – расходный бак коагулянта; 2 – трубопровод для подачи раствора коагулянта к насосам-дозаторам; 3 – трубопровод опорожнения; 4 – трубопровод подачи раствора коагулянта насосом (как вариант – самотеком) из растворных или хранилищных баков; 5 – сжатый воздух; 6 – трубопровод подачи воды на разбавление раствора коагулянта

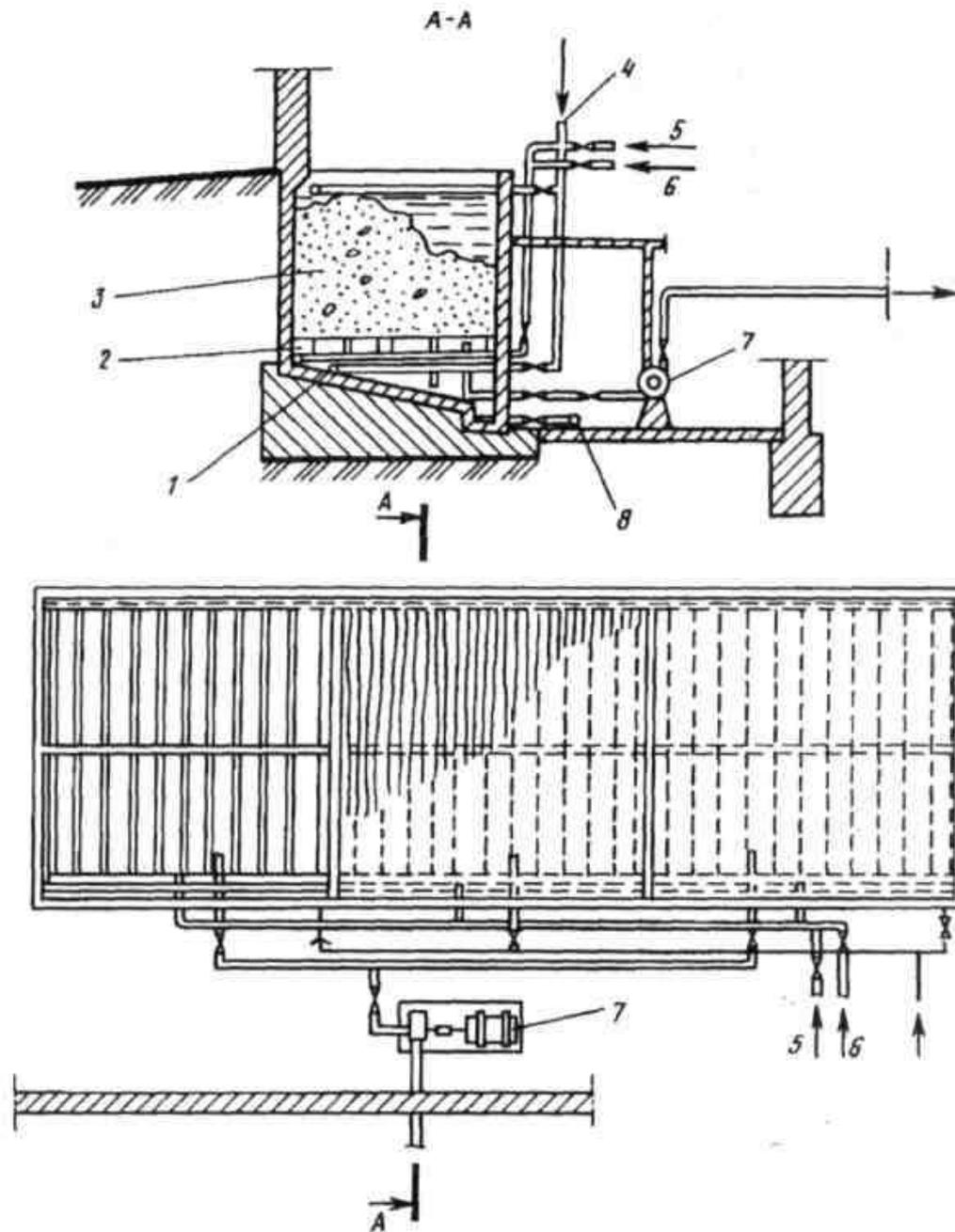


Рис. 3.6. Резервуары для хранения коагулянта в жидком виде: 1 – резервуар с антикоррозийным покрытием; 2 – колосниковая решетка; 3 – слой коагулянта; 4 – подача воды; 5, 6 – подача пара и сжатого воздуха; 7 – кислотный насос; 8 – сброс осадка

Для сравнительно небольших установок коагулирования расходные и растворные баки – это деревянные или железобетонные резервуары с антикоррозионной облицовкой внутри.

При большой пропускной способности водоочистного комплекса растворные и расходные баки должны быть размещены на первом этаже рядом со складом реагентов, раствор реагента должен подаваться к дозирующему устройству насосами.

Объем (м^3), растворного и расходного баков W определяют по формулам:

$$W_{p\bar{o}} = \frac{Q_{oc} \cdot n \cdot D_k}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma_p}, \text{ м}^3;$$

$$W_{px} = W_{p\bar{o}} \frac{b_p}{b_{px}}, \text{ м}^3,$$

где Q_{oc} – полная производительность очистной станции, $\text{м}^3/\text{ч}$; n – число часов растворения коагулянта, 8...12 ч; D_k – доза коагулянта, $\text{мг}/\text{л}$; γ_p – объемная масса раствора (зависит от температуры воды и крепости раствора), $\text{т}/\text{м}^3$; b_p и b_{px} – концентрация раствора коагулянта в растворном и расходном баках, %.

Для станций производительностью до 30000 $\text{м}^3/\text{сут}$ помещение, где производится приготовление коагулянта, может стыковаться с основным зданием очистных сооружений, а свыше этой величины – располагается в отдельном от остальных сооружений по обработке воды здании, смесительные устройства, как правило, располагаются там же.

При малой производительности и в случае сухого хранения коагулянта на складе принимают не менее двух растворных баков по 12 часов растворения и один резервный.

Для станций средней и большой производительности количество баков принимается не менее трех и один резервный. Резервный бак может быть применен в качестве расходного или растворного бака. Количество расходных баков принимается не менее двух.

При мокром хранении коагулянта емкость растворного бака и баков-хранилищ определяется исходя из условий разовой поставки коагулянта на очистную станцию и растворения его за отведенное время. При этом принимается определенное количество воды, необходимое для растворения 1 т коагулянта [5, 11].

Исходя из этого можно определить емкость растворных баков при их количестве не менее трех. Аналогично определяется емкость баков-хранилищ исходя из всей массы поступающего коагулянта. Количество баков-хранилищ обычно принимается равным количеству растворных баков. Емкость расходных баков определяется по вышеприведенной формуле, где b_{px} принимается до 17 % (обычно 4...10 %).

3.2. Сооружения для приготовления растворов реагентов при подщелачивании воды

Для подщелачивания при коагулировании и стабилизации воды применяют известь в виде раствора концентрацией до 5 % по оксиду кальция или раствора концентрацией до 1,4 г/л, т.н. известковое молоко. Можно использовать раствор соды концентрацией 2...4 %. Технологическая схема известкования воды выбирается с учетом вида и качества исходного продукта, потребности в извести, места ее ввода и т.д. При суточном потреблении извести до 50 кг по оксиду кальция можно применять известковый раствор, приготовляемый в сатураторах двойного насыщения (рис. 3.7).

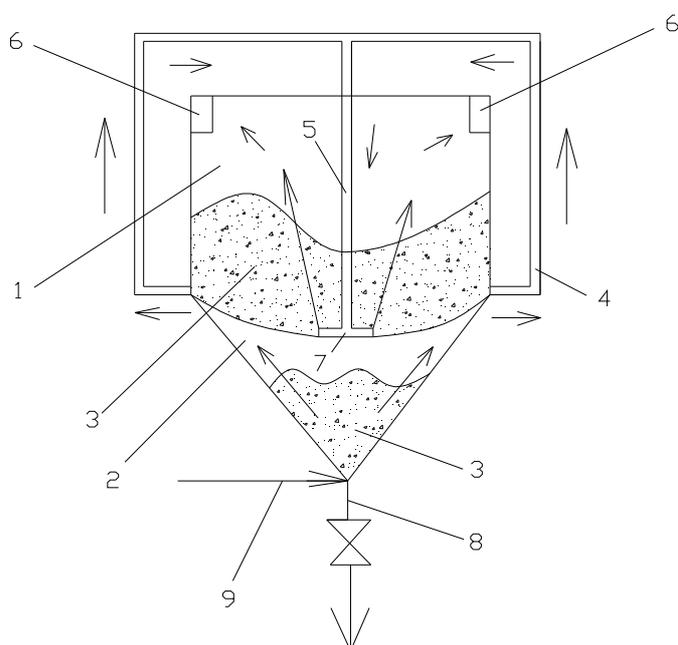


Рис. 3.7. Схема работы сатуратора двойного насыщения: 1 – верхняя камера; 2 – нижняя камера; 3 – слой извести (верхний и нижний); 4 – перепускные трубы; 5 – центральная труба; 6 – сборные лотки; 7 – перепускной клапан; 8 – трубопровод опорожнения ($\text{Ø} \geq 150 \text{ мм}$); 9 – подвод воды на приготовление раствора извести

При большом суточном потреблении извести раствор готовят в баках (принимают не менее двух). Баки должны иметь конические днища с углом 45° и сбросные трубопроводы диаметром не менее 100 мм (рис. 3.8, [39]). Непрерывное перемешивание известкового молока в баках осуществляют гидравлическим способом с помощью циркуляционного насоса при восходящей скорости потока не менее 5 мм/с или механическими мешалками, но чаще используют барботирование сжатым воздухом с интенсивностью $8...10 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Полученное известковое молоко очищают от нерастворимых примесей в вертикальных отстойниках или в гидроциклонах с двукратным пропуском его через аппарат.

Раствор соды концентрацией 2...4 % готовят в железобетонных или стальных баках с механическим или пневматическим побуждением. Для ускорения процесса растворения соды рекомендуется подогрев воды до $50...60 \text{ }^\circ\text{C}$.

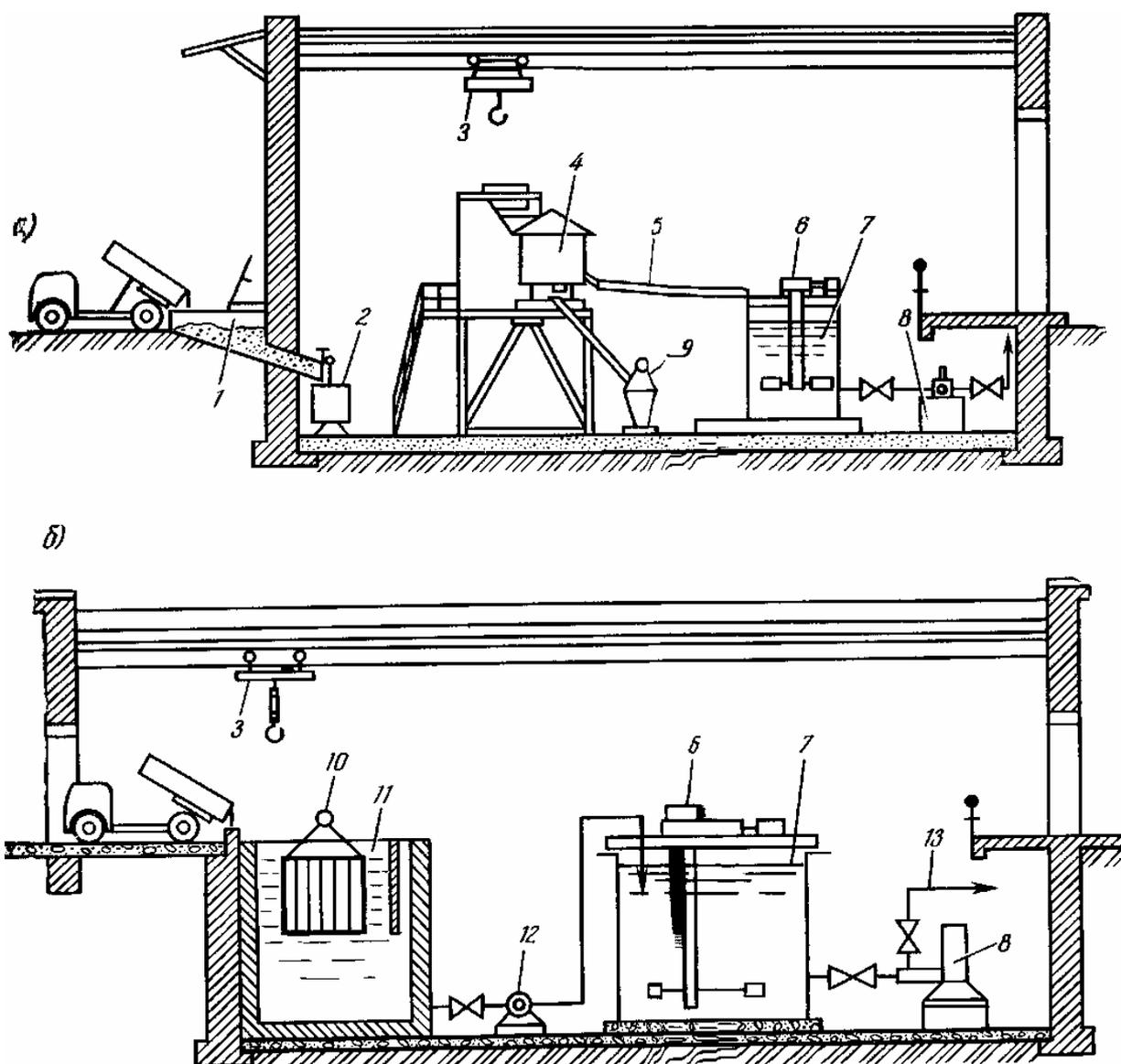


Рис. 3.8. Известковое хозяйство при сухом (а) и жидком (б) хранении извести: 1 – бункер; 2 – контейнер; 3 – таль с электроприводом; 4 – известегасилка; 5 – сливной желоб; 6, 7 – пропеллерная мешалка и бак для известкового молока; 8 – насос-дозатор; 9 – бак для отходов; 10 – корзина с известью; 11 – бак известкового теста; 12 – насос; 13 – отвод известкового молока

3.3. Сооружения для приготовления раствора флокулянта

Раствор ПАА рекомендуется готовить в баках с механическими лопастными мешалками. В состав установки (рис. 3.9) помимо мешалки входят расходный бак, где аккумулируется раствор 1...1,5 %-ной концентрации ПАА, дозатор и эжектор, вторично разбавляющий раствор до 0,1... 0,25 %-ной концентрации и транспортирующий его к месту ввода в обрабатываемую воду. Период приготовления раствора ПАА из геля – 30...40 мин, из сухого продукта – 2 ч.

При использовании горячей воды с температурой до 50 °С продолжительность приготовления раствора ПАА сокращается.

Число мешалок и объем расходных баков определяют исходя из сроков хранения растворов ПАА: 0,7...1 %-ной концентрации – до 15 сут; 0,4...0,6 %-ной – до 7 сут; 0,1...0,3 %-ной – до 2 сут.

Растворы активированной кремниевой кислоты (АК) готовят на месте ее применения путем активации силиката натрия (т.е. нейтрализации его щелочности) раствором сульфата алюминия или хлором на установках непрерывного или периодического действия. При часовом использовании дозы АК до 3 кг применяют установки периодического действия, состоящие из реактного бака, где в течение часа выдерживают хлорированный раствор силиката натрия, хлората ЛК-10, центробежного насоса и дозаторов.

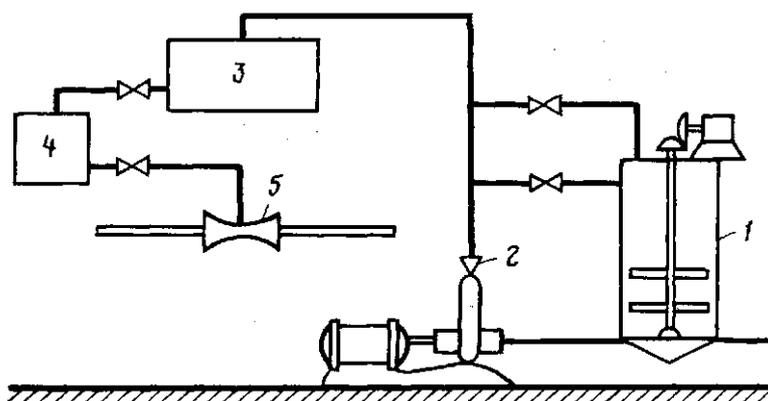


Рис. 3.9. Установка для приготовления раствора флокулянта: 1 – растворный бак с непрерывной циркуляцией раствора; 2 – насос циркуляции и перекачки раствора; 3 – расходный бак; 4 – дозатор; 5 – эжектор

3.4. Приготовление раствора угольной пульпы

Активированный уголь улучшает привкус и запах в воде, но, имея высокую стоимость, применяется только лишь при соответствующем обосновании. Это могут быть угли марки АГ-3, АГ-5, ДАК, БАУ.

На станцию уголь поступает в мешках в порошкообразном или гранулированном виде. Угольную пульпу концентрацией 5...10 %, применяемую для дезодорации воды, готовят замачиванием активированного угля (рис. 3.10) в течение 1 ч в баках с механическим или гидравлическим перемешиванием. Затем пульпа подается в расходный бак, объем которого рассчитывается на 24 часа работы. Для станций малой производительности баки для замачивания и расхода пульпы могут совмещаться.

Помещения, где размещены угольные установки, относятся к категории пожароопасных, их оборудуют системой приточно-вытяжной вентиляции с пятикратным (не менее) обменом воздуха.

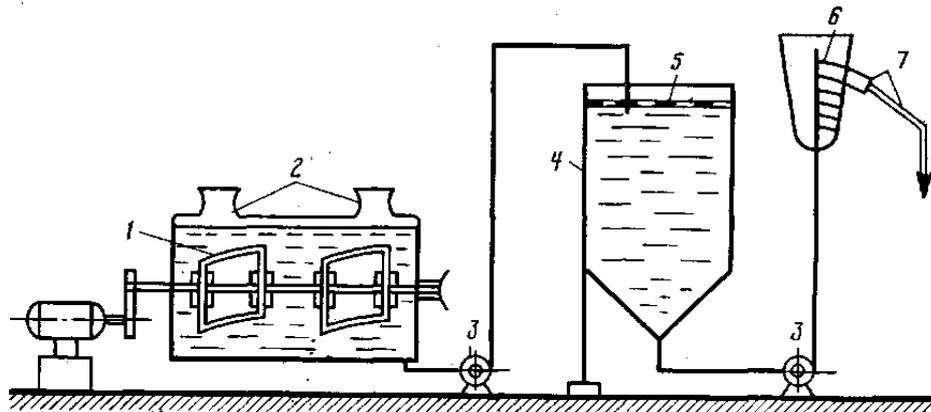


Рис. 3.10. Установка для приготовления и дозирования пульпы активированного угля: 1 – барабан с механическим перемешиванием; 2 – люки; 3 – насосы; 4 – бункер для пульпы; 5 – сетка; 6 – дозатор; 7 – отвод готовой пульпы

3.5. Дозирование реагентов

Дозирование реагентов в обрабатываемую воду с равномерным их распределением является ответственным этапом водообработки. От его совершенства в значительной степени зависит не только степень очистки воды, но и экономичность технологии.

В водоподготовке применяют дозаторы растворов и суспензий, газов и сухих реагентов, которые можно классифицировать на три вида: дозаторы постоянной дозы; пропорциональные, автоматически устанавливающие дозу в соответствии с изменяющимся расходом воды или ее качеством, и насосы-дозаторы. Дозаторы растворов, суспензий и газов можно подразделить на дозирующие реагенты в открытый поток и в напорный трубопровод. Дозаторы сухих реагентов вводят их в открытый поток или в специальный смеситель, где они быстро растворяются.

Сухие гранулированные или порошкообразные реагенты дозируют шнековыми, ленточными, тарельчатыми, объемными, массовыми и вибрационными дозаторами.

Объемные дозаторы (рис. 3.11) подают определенный объем вещества за расчетный промежуток времени, *массовые* – массовое количество вещества (рис. 3.12). Основное отличие их состоит в следующем: объемные дозаторы, которые конструктивно проще и дешевле, имеют точность

дозирования 3 ... 5 %, массовые – 1 %; массовые дозаторы легче оборудовать записывающим устройством для регистрации дозируемого реагента и устройством для автоматической подачи реагента в воду.

Важной и неотъемлемой частью сухих дозаторов является растворная камера. При непосредственном вводе сухих реагентов в воду они падают на дно нерастворенными. Максимальную концентрацию реагента в растворной камере принимают равной 1/4 концентрации насыщенного раствора при обычной температуре воды. Вместимость растворных камер принимают не менее 20 л. Для более полного смешения реагента с водой и его лучшего растворения предусматривают электрические мешалки или форсунки. Для точного регулирования количества воды, поступающей в растворную камеру, применяют различные водомеры.

Из камеры раствор вводят в обрабатываемую воду. Используют дозаторы типа ДВ с массовым контролем производительностью 8...40; 40...120; 120...400; 400...1000; 1000...2000; 2000...4000 кг/ч; питатели-дозаторы с массовым контролем типа ПНВ такой же производительностью, что и дозаторы типа ДВ; дозаторы автоматические, непрерывного действия сыпучих материалов типа ДН-2-IV производительностью 0,1...160; 0,1...320; 0,1...630; 0,1...1000; 0,1...1600 кг/ч. После дозатора реагент направляется в смывное устройство, из которого забирается эжектором и транспортируется водой к смесителю.

Существенными преимуществами сухого дозирования являются компактность установки, предотвращение коррозии оборудования, простая схема автоматизации процесса и значительное снижение капитальных затрат.

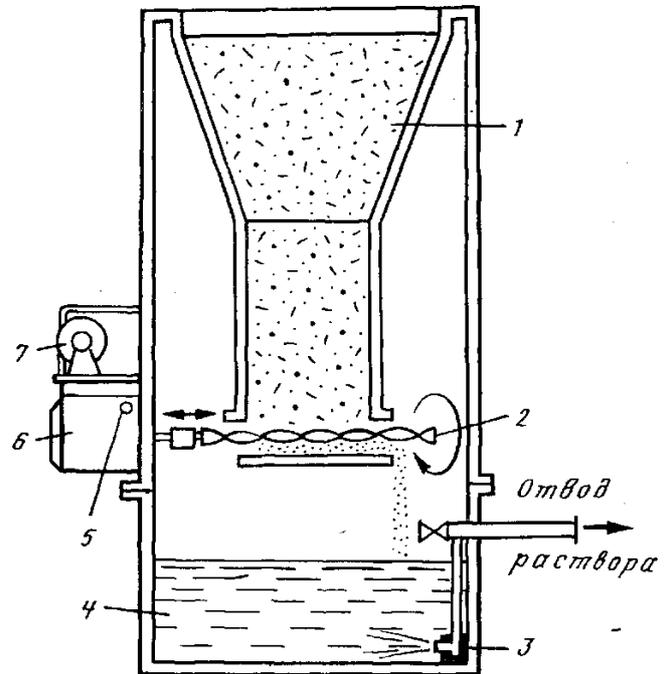


Рис. 3.11. Объемный дозатор со шнековым питателем: 1 – бункер; 2 – шнековый питатель (одновременно вращается и совершает возвратно-поступательные перемещения); 3 – водоструйный смеситель; 4 – растворная камера; 5 – регистратор и регулятор подачи химических веществ; 6 – редуктор, 7 – электродвигатель

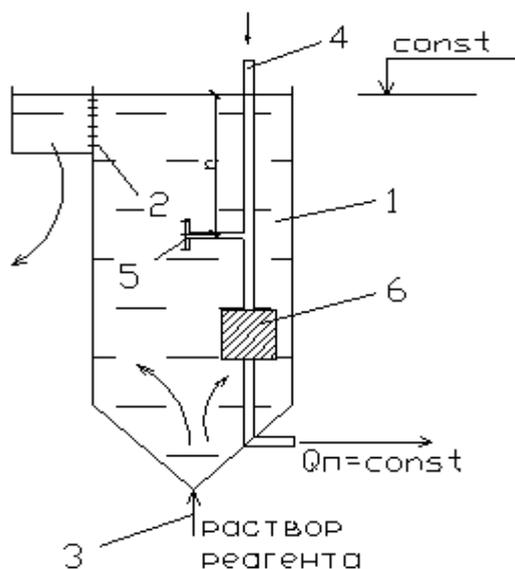


Рис. 3.12. Схема работы постоянного дозатора: 1 – корпус дозатора; 2 – переливное отделение для поддержания постоянного уровня раствора в дозаторе (отводит избыток раствора в расходный бак); 3 – подача раствора; 4 – воздушная трубка; 5 – диафрагма с заборной трубкой; 6 – телескопическая вставка для изменения расположения заборной трубки

Дозаторы растворов реагентов подразделяются на постоянные (рис. 3.12) и пропорциональные (рис. 3.13, а). Первый тип подает постоянный по времени раствор реагентов в обрабатываемую воду, а второй предназначен для поддержания заданных параметров обрабатываемой воды (электропроводности, рН и т.д.), регулирует расход реагентов в зависимости от расхода воды на очистных сооружениях и ее состава.

На рис. 3.13, а показано устройство и схема работы пропорционального поплавкового дозатора простейшего типа. В водомерный бак этого дозатора поступает часть воды, отделенная в определенном количестве от общего потока на распределительном водосливе (остальная большая часть поступает непосредственно в смеситель). Из бака вода выходит через патрубок с диафрагмой и направляется через воронку также в смеситель. В баке имеется поплавок, который с помощью тросика, перекинутого через блоки, поддерживает на определенной высоте дозирующую трубку диафрагмы. Через эту трубку из второго бака вытекает раствор реагента, уровень которого в баке поддерживается постоянным благодаря шаровому клапану. При увеличении количества воды, поступающей на обработку, уровень воды в баке повышается, поплавок поднимается, дозирующая трубка опускается, и расход раствора реагента увеличивается пропорционально расходу обрабатываемой воды. В баке исходной воды успокоительная камера отделена перегородкой.

На рис. 3.13, б представлен дозатор типа «плавающая трубка», в котором основным элементом является подвижная заборная трубка, при постоянном уровне раствора коагулянта в резервуаре. В зависимости от расхода обрабатываемой воды изменяется расстояние от конца трубки до верхнего уровня, следовательно, и расход раствора.

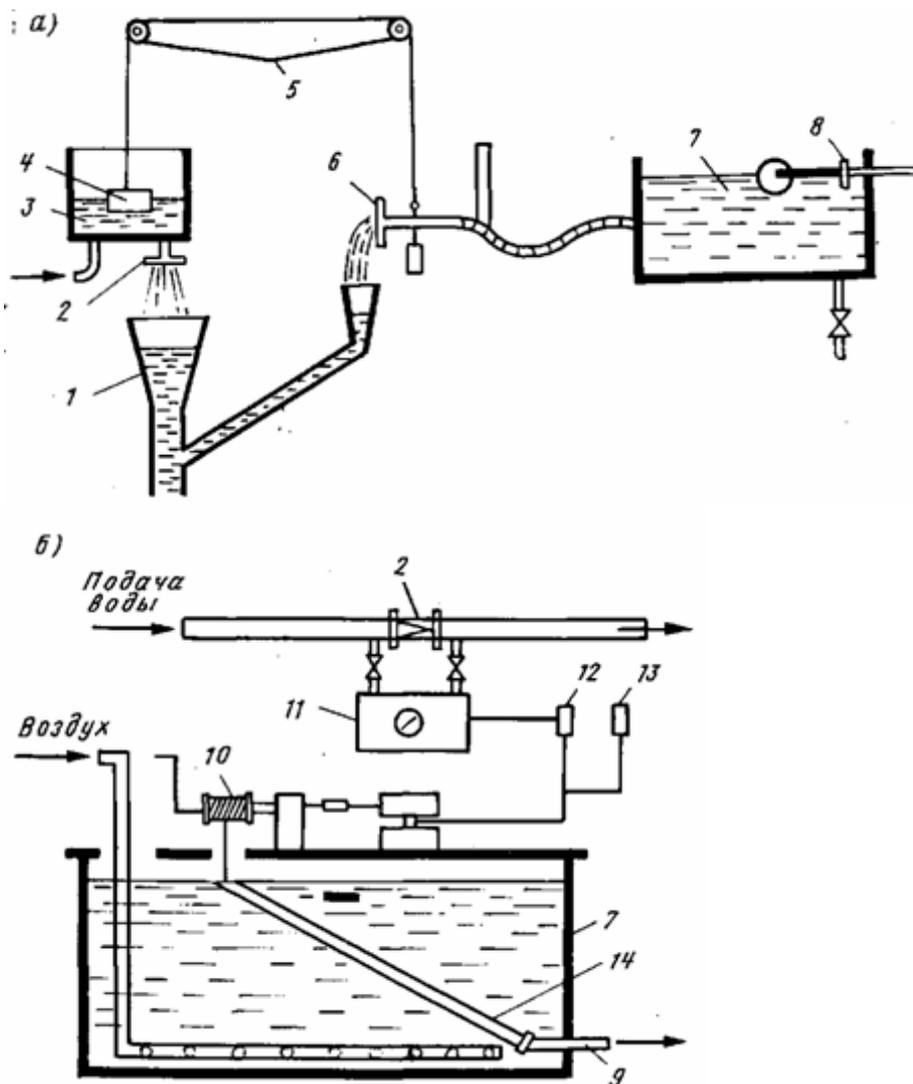


Рис. 3.13. Дозатор пропорциональный, поплавковый (а) и типа «плавающая труба» (б); 1 – приемная воронка; 2 – диафрагма; 3 и 7 – водомерный и реагентный баки; 4 – поплавок; 5 – блоки; 6 – дозирующая диафрагма; 8 – шаровой кран; 9 и 14 – дозирующая и плавающая трубки; 10 – барабан лебедки; 11 – водомер; 12 – реле; 13 – магнитный пускатель

Автоматически действующим дозатором пропорциональной дозы является дозатор, предложенный В.Л. Чейшвили и И.Л. Крымским (рис. 3.14), действие которого основано на использовании разности электропроводности воды до (первая точка) и после (вторая точка) ввода раствора коагулянта. По тому же принципу действует дозатор АОВ-2 системы ИОНХ АН Украины.

Прибор измеряет электропроводность до и после ввода реагента, и эта разница должна быть постоянной. При измерении концентрации примесей или расхода воды происходит отклонение разности ее электропроводности в ту или иную сторону; стремясь восстановить равновесие на за-

данную разность, компенсационная ячейка дает сигнал на электронный мост, вследствие чего включается реверсивный двигатель задвижки подачи раствора коагулянта на открытие или закрытие. Следовательно, и подача раствора реагента будет увеличиваться либо уменьшаться.

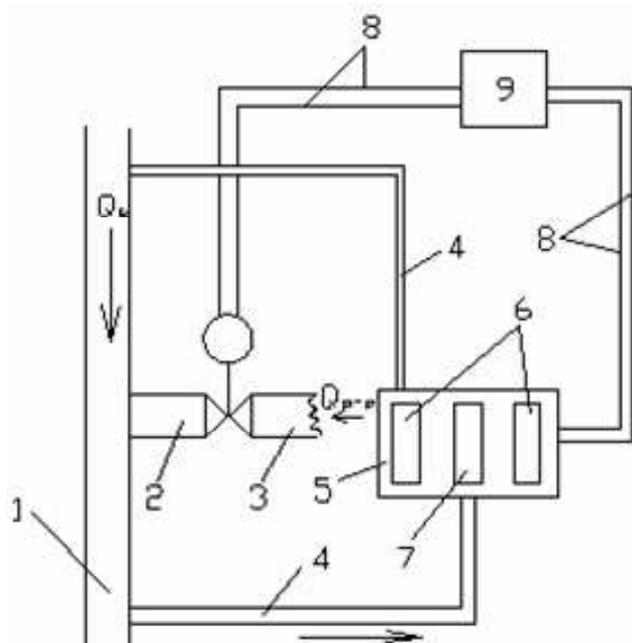


Рис. 3.14. Схема работы автоматического дозатора Чейшвили – Крымского: 1 – трубопровод с обрабатываемой водой; 2 – трубопровод с раствором реагента (коагулянта); 3 – задвижка с электрическим реверсивным двигателем, степень открытия которой определяет расход реагента; 4 – импульсные трубки с измерительными датчиками (электропроводность воды); 5 – прибор (кондуктометр) для измерения электропроводности воды; 6 – измерительные электролитические ячейки; 7 – компенсационная электролитическая ячейка; 8 – электропровода; 9 – электронный мост

3.6. Последовательность ввода реагентов в обрабатываемую воду при обработке воды из поверхностного источника

Для обеспечения полноты протекания химических реакций и наиболее эффективных условий взаимодействия между собой растворы реагентов вводятся в обрабатываемую воду с разрывом по времени (рис. 3.15).

Применение аммиака NH_3 должно быть обосновано. Аммиачный раствор вводится для связывания хлора Cl_2 и предотвращения, в свою очередь, его связывания с другими веществами (например, фенолами, гомогенными соединениями и др.), которые могут сделать воду полностью непригодной для питьевых целей. Кроме того, хлорамины обладают длительным бактерицидным действием.

Первичное хлорирование выполняется с целью повышения эффективности осветления и обесцвечивания воды коагуляцией. После обработки воды производят ее обеззараживание (хлор, озон, облучение и др.), а при необходимости – стабилизацию известью или содой, а также фторирование.

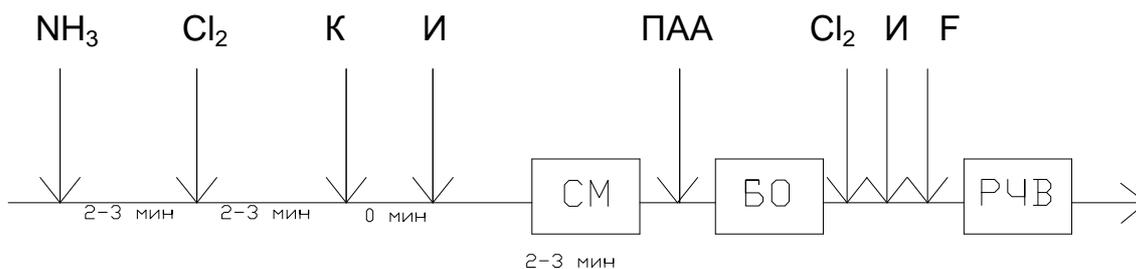


Рис. 3.15. Последовательность ввода растворов реагентов в обрабатываемую воду из открытых источников: NH_3 – аммонизация воды; Cl_2 – первичное и вторичное (вариант) хлорирование воды; К – коагулирование воды; И – известкование воды при ее подщелачивании или стабилизации (вариант); ПАА – флокуляция воды; F – фторирование воды

3.7. Смесительные устройства

Смесительные устройства предназначены для быстрого и полного смешения реагентов с обрабатываемой водой. Для станций малой производительности применяют преимущественно смесители с механическим перемешиванием, а для станций средней и большой производительности – с гидравлическим. Смешение воды с реагентами может происходить непосредственно в трубопроводах или насосах, подающих воду на очистные сооружения (если реагенты не оказывают разрушительного воздействия на насосы, и наоборот).

Для лучшего смешения раствора реагентов с обрабатываемой в напорном водоводе водой и сокращения длины участка рекомендуется устраивать сужения в виде трубы Вентури, эжектора или диафрагмы (шайбы). Эти сужения позволяют несколько снизить пьезометрическое давление в месте ввода раствора реагентов в трубопровод и, следовательно, уменьшить высоту расположения дозатора. Такие дроссельные устройства обуславливают появление вихревых потоков в обрабатываемой воде, что благоприятствует смешению ее с реагентами. Для обеспечения достаточно надежного смешения воды с реагентами соотношение диаметров проходного отверстия диафрагмы и трубопровода должно приниматься таким, чтобы потеря напора в диафрагме была в пределах $0,2 \dots 0,4$ м.

Шайбовый смеситель (рис. 3.16) служит для смешения реагентов непосредственно в напорном трубопроводе, и его применение не лимитируется производительностью станций. Трубка, подводящая раствор реагента в напорный трубопровод, должна доходить до его середины, а ее конец должен быть срезан под углом 45° . Трубку изготавливают из пластмассы или стекла и укрепляют в напорном трубопроводе при помощи сальника.

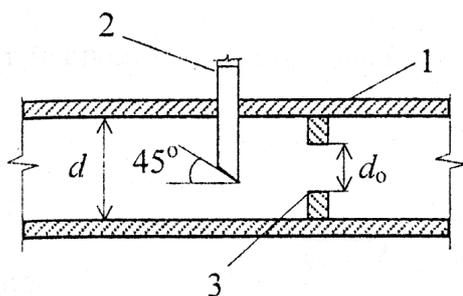


Рис. 3.16. Шайбовый смеситель:
1 – трубопровод обрабатываемой воды;
2 – трубка для ввода реагентов; 3 – шайба

В тех случаях, когда высотное расположение напорного водовода и дозирующих устройств не обеспечивает подачу раствора реагента в водовод самотеком, непосредственно в напорном трубопроводе или во всасывающей трубе насоса может быть применено смесительное устройство с эжектором (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Схема ввода реагента при помощи эжектора в напорный трубопровод (а) и во всасывающую трубу насоса (б): 1 – раствор коагулянта; 2 – дозирующий бак; 3 – воронка; 4 – эжектор; 5 – бачок постоянного уровня

В механических смесителях перемешивание воды с растворами реагентов осуществляется турбинными, пропеллерными и лопастными мешалками на вертикальной оси (рис. 3.18). Их применение позволяет снизить капитальные удельные затраты, уменьшить расход коагулянта до 25 %, сократить время пребывания воды в отстойниках и осветлителях со слоем взвешенного осадка, регулировать параметры смешивания адекватно количеству и качеству обрабатываемой воды.

Продолжительность перемешивания в таких смесителях составляет 30...60 мин. Оптимальный эффект коагуляции обеспечивает очень быстрый перенос частиц, который возможен только в высокоскоростных механических смесителях с мешалками лопастного, турбинного и пропеллерного типа, где происходит практически мгновенное распределение реагента во всем объеме воды и быстрое получение оптимальной концентрации. Такие смесители позволяют уменьшить время коагуляции и при наиболее полном использовании реагентов увеличить плотность образующихся хлопьев, сократить дозу коагулянта.

Механические смесители представляют собой круглые или квадратные в плане камеры с соотношением высоты к ширине (диаметру) 2:1 с плоским или коническим днищем. Число мешалок на валу зависит от глубины камеры. 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 150 мин^{-1} – для пропеллерных. Время пребывания воды составляет от 30 с до 1 мин. Привод смесителя размещают на площадке на высоте около 1 м выше верха камеры.

В качестве открытых смесителей гидравлического типа применяют дырчатые, перегородчатые, вихревые и коридорные. Первые два типа используют в основном для смешения воды и истинных растворов реагентов. В обход смесителей проектируют обводные линии, резервные смесители при этом не предусматриваются. Открытые смесители должны иметь переливные трубы, а также трубы для опорожнения и выпуска осадка.

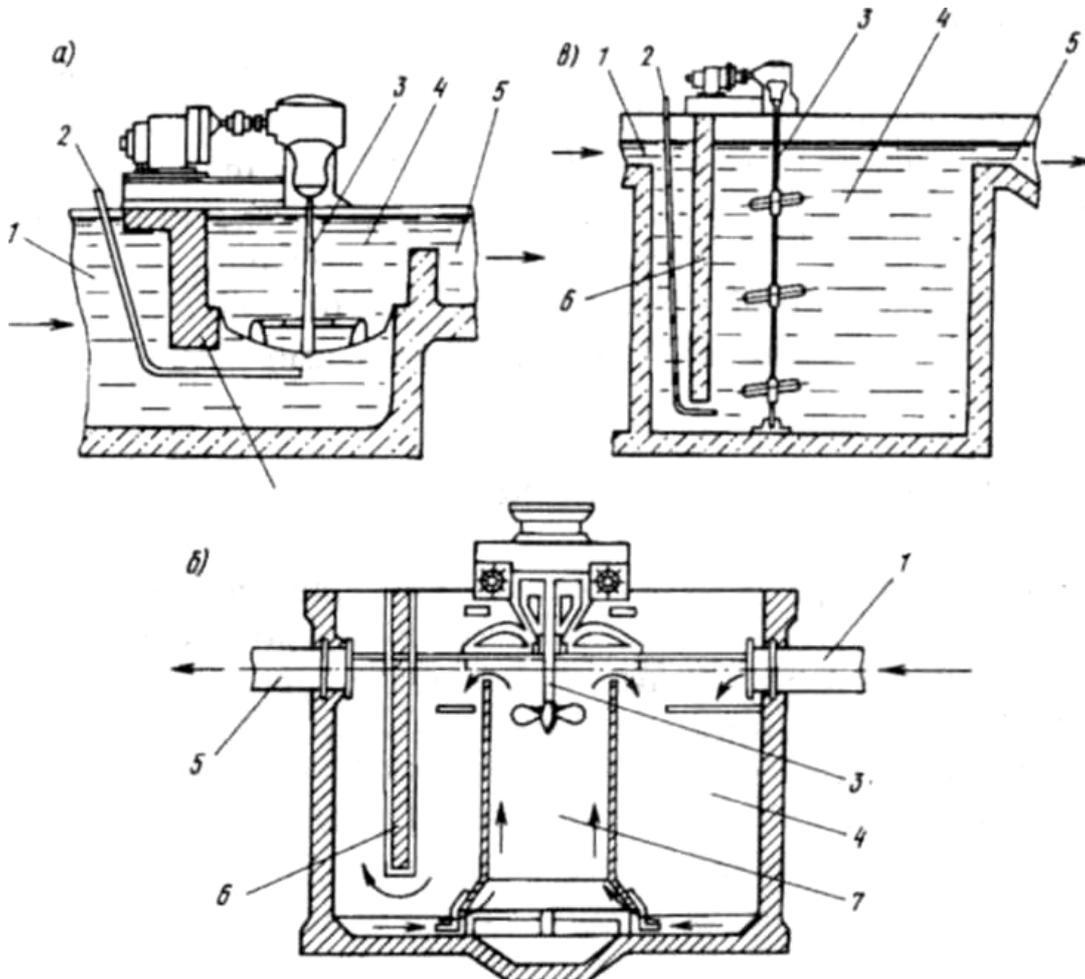


Рис. 3.18. Механические смесители турбинного (а), пропеллерного (б) и лопастного (в) типов: 1, 5 – подача и отвод воды; 2 – ввод реагента; 3 – ось мешалки; 4 – камера смешения; 6 – струенаправляющая перегородка; 7 – центрально-расположенный стакан

Число смесителей принимается не менее двух (на станциях малой производительности возможно устройство одного смесителя). Время пребывания в них не должно превышать 2...3 мин.

Дырчатые (рис. 3.19) и перегородчатые смесители применяют на станциях малой и средней производительности для смешения воды и истинных растворов реагентов. Диаметр отверстий в дырчатом смесителе принимают 25...100 мм и располагают в перегородках (3 шт.) в шахматном порядке. Обязательно верхний ряд отверстий должен быть затоплен под уровень воды на 0,1...0,15 м. Скорость движения воды в отверстиях принимают равной 1 м/с, общую потерю напора – 0,45 м (в каждой перегородке по 0,15 м). Расстояние между перегородками по длине смесителя равно $\frac{1}{2}$ его ширины. В перегородчатом смесителе также принимают три перегородки, но сплошные и затопленные, причем крайние перегородки располагаются посередине и занимают $\frac{1}{2}$ его ширины, а средняя состоит из двух частей, каждая $\frac{1}{4}$ ширины смесителя.

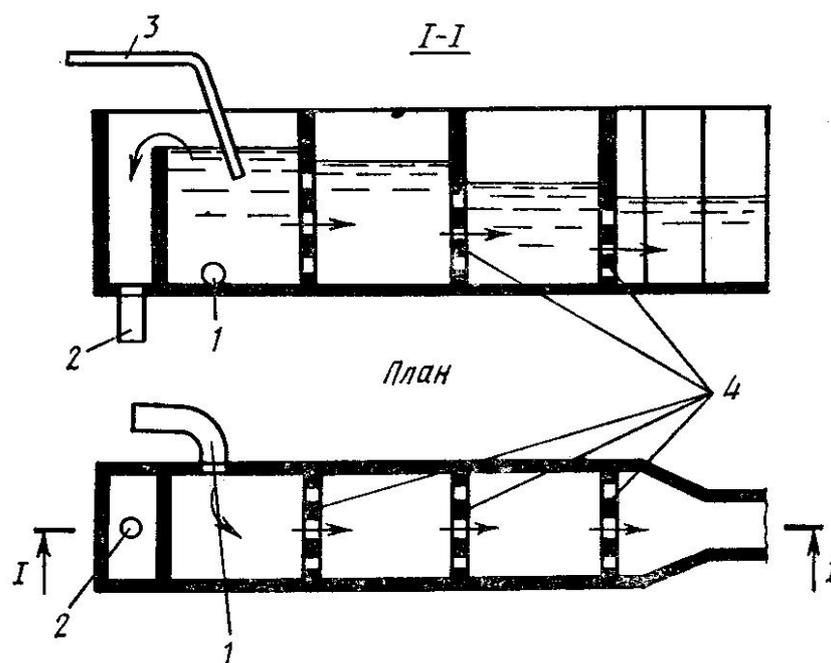


Рис. 3.19. Дырчатый смеситель: 1 – подача коагулянта; 2 – подача исходной воды; 3 – перегородки; 4 – переливная труба; 5 – переливная камера

Вертикальные (вихревые) смесители применяются на станциях любой производительности и любых видов растворов реагентов. Они могут быть круглыми (рис. 3.20) или прямоугольными в плане с конической или пирамидальной нижней частью. Подвод воды в смеситель предусматривают снизу со скоростью 1,2...1,5 м/с, высота его вертикальной части должна быть в пределах 1,0...1,5 м. Скорость восходящего потока на уровне водо-

сборных устройств принимают 30...40 мм/с (108...144 м/ч), а скорость движения воды по лоткам – 0,6 м/с.

Расход воды на один смеситель (секцию) принимают не более 1200...1500 м/ч. Протяженность трубопровода от смесителя к следующему сооружению должна быть такой, чтобы время пребывания в нем было не более 1,5 мин. Смесители (секции), квадратные в плане, желательно компоновать совместно по два или четыре в один блок.

Перегородчатые (коридорные) смесители применяются на станциях большой производительности (рис. 3.21). Ширина коридоров (расстояние между перегородками) должна быть не менее 0,7 м, число поворотов потока (на 180°) – 9...10. Такой же смеситель используется при одноступенчатых схемах обработки воды (например, в контактных осветлителях) и может работать как входная камера, которая играет роль не только смесительного устройства, но и как приемная камера перед основным сооружением. Каждая камера состоит из двух отделений, а их объем определяется исходя из количества и видов растворов реагентов с вводом их в камеру, предусмотренным разрывом во времени, но не менее 5 мин.

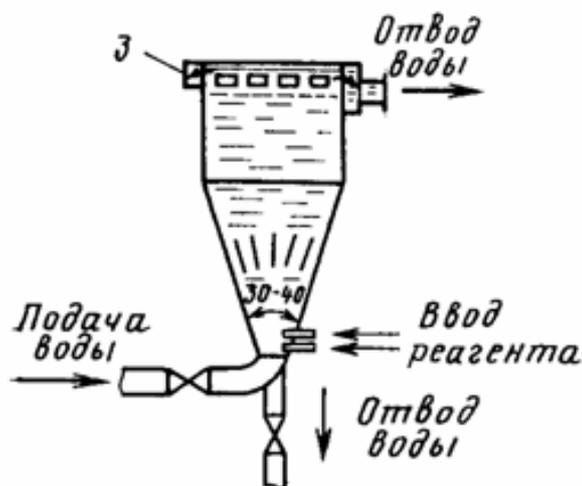


Рис. 3.20. Смеситель вертикального (вихревого) типа: 1 – подвод реагентов; 2 – сборные желоба; 3 – затопленные отверстия в боковых стенках корпуса для отвода воды; 4 – трубопровод для опорожнения смесителя

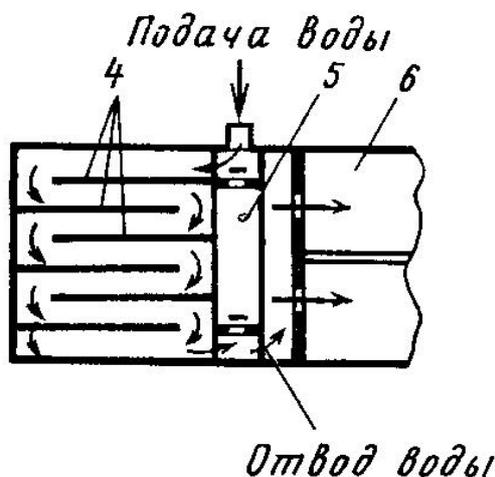


Рис. 3.21. Смеситель коридорного типа: 1 – коридоры смесителя; 2 – шиберы

ТЕМА 4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОСВЕТЛЕНИЕ И ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ ВОДЫ

Целью предварительного осветления является удаление грубодисперсных и части тонкодисперсных примесей до 10^{-7} м, в основном при безреагентной обработке воды из поверхностного источника. Для этого производят обработку воды в поле центробежных сил (центрифуги и гидроциклоны), флотацию, фильтрование воды через сетчатые материалы (барбанные сетки, микрофильтры, акустические фильтры) и выделенные осадки, а также применяют биореакторы предочистки.

4.1. Осветление воды в поле центробежных сил

Осветление воды при помощи вращения воды в аппарате основано на переносе частиц взвеси от центра к периферии центробежной силой. Для осветления воды, содержащей грубодисперсные примеси (ГДП), все более широкое применение получают центрифуги и гидроциклоны. Их действие основано на использовании поля центробежных сил, где выделение механических примесей из воды происходит под воздействием этих сил, которые в сотни и тысячи раз превышают силы тяжести, за счет чего увеличивается скорость осаждения частиц. При этом эквивалентно сокращается продолжительность процесса осветления воды и значительно уменьшается необходимый объем центробежного аппарата по сравнению с объемом отстойника.

Режим движения жидкости в поле центробежных сил является турбулентным. Передача вращения от периферии внутрь происходит диффузией и конвекцией под действием вращающего момента сил, вязкости и перемещения самой жидкости. При этом возникают два основных круговых потока: внешний, направленный к вершине образующегося конуса, и внутренний, направленный в противоположную сторону. При вращении внешнего потока часть жидкости удаляется через нижнее отводное отверстие, а другая часть отделяется и, двигаясь радиально, вливается во внутренний поток, к нему добавляется основное количество жидкости у вершины конуса и, изменяя направление, отводится через верхнее отводное отверстие в диафрагме аппарата. В гидроциклоне, кроме внешнего и внутреннего вращающихся потоков жидкости, образуется третий – воздушный поток (воздушный столб) по оси аппарата. Потоки жидкости направлены по логарифмической спирали. Внешний поток ограничен стенкой аппарата и поверхностью внутреннего потока, который, в свою очередь, ограничен с внутренней стороны воздушным столбом.

При больших значениях ω и малых величинах R сила, действующая на частицу взвеси во вращающемся потоке жидкости, будет во много раз больше силы тяжести, и скорость движения частиц взвеси будет значительно больше скорости свободного их осаждения. Поэтому в поле центробежных сил выделение взвеси из воды осуществляется значительно быстрее, чем в отстойниках.

Исследования, выполненные в разное время И.В. Скирдовым, А.М. Фоминых, В.В. Найденко, В.Г. Пономаревым, показали эффективность осветления воды в проточных центрифугах и гидроциклонах. Однако высокая стоимость проточных центрифуг и сложность эксплуатации делают их неконкурентоспособными в сравнении с гидроциклонами.

Гидроциклоны могут быть открытыми и напорными. Открытые гидроциклоны подразделяются на одно- и многоярусные, а напорные бывают обычными и мультициклонами (рис. 4.1 и 4.2). Обработанная вода подводится в верхнюю часть гидроциклона тангенциально и, вращаясь, движется к сливному патрубку, расположенному в центре по оси аппарата. Диспергированные примеси воды центробежной силой перемещаются к стенкам гидроциклона и по ним спускаются вниз, в конус, через насадку в нижней части которого непрерывно удаляются в сток. Перемещение твердых частиц к стенкам аппарата происходит со скоростью, равной разности скорости, возникающей в результате действия центробежных сил, и радиальной скорости движения, направленной к центру. Чем меньше диаметр гидроциклона, тем больше развивающиеся в нем центробежные силы и тем меньше размер задер-

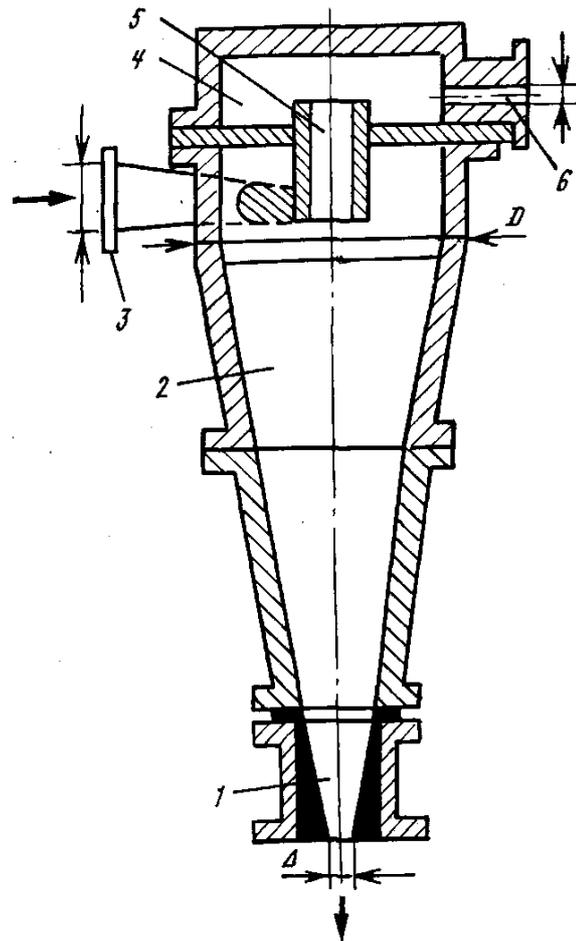


Рис. 4.1. Схема одноярусного напорного гидроциклона: 1 – сменная насадка для выпуска осадка; 2 и 4 – коническая и цилиндрическая часть; 3, 5 – питающий и сливной патрубки, 6 – отвод осветленной воды

живаемых в гидроциклоне частиц. Большая эффективность разделения достигается в гидроциклоне вытянутой формы с возможно малым углом конусности. Поэтому для задержания тонкодисперсной взвеси используют гидроциклоны малого диаметра, устанавливая их параллельно в большом количестве. Такой аппарат называют мультициклоном (рис. 4.2).

В основу проектирования и расчета гидроциклонов принимается формула для определения гидравлической крупности частиц, на задержание которых рассчитывают аппарат:

$$u = \frac{qD^2}{3,6(D^2 - d^2)},$$

где q – гидравлическая нагрузка, приходящаяся на один ярус гидроциклона, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; D и d – соответственно диаметры гидроциклона и шламозадерживающего козырька.

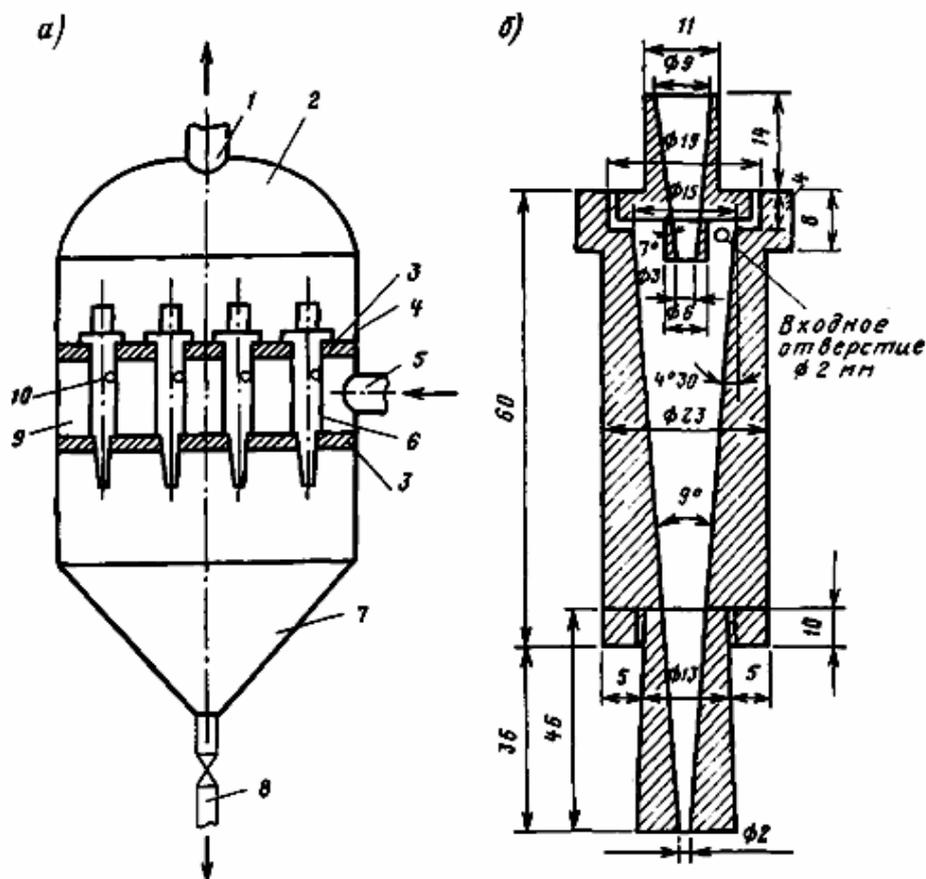


Рис. 4.2. Схема мультициклона (а) и гидроциклона диаметром 15 мм (б): 1, 5 – сливной и питающий патрубки; 2, 9 – камера сбора осветленной и распределения исходной воды; 3 – разделительные плиты; 4 – цилиндрическая часть аппарата; 6 – гидроциклоны диаметром 10 мм (15 или 20 мм); 7 – шламовая камера; 8 – патрубок сброса шлама; 10 – входное отверстие

Подачу гидроциклона по осветленной воде q определяют по формуле

$$q = 864a \frac{d}{d_{II}} \alpha (2g\Delta H)^{0,5},$$

где α – коэффициент, учитывающий потерю части воды с осадком, равным 0,85...0,9 (большее значение для меньшего диаметра насадки); d_{II} – эквивалентный диаметр питающего отверстия (диаметр круга, равновеликого площади питающего отверстия), см; a – площадь живого сечения питающего отверстия, м²; d – диаметр сливного патрубка, см; g – ускорение свободного падения; ΔH – потеря напора в гидроциклоне, м.

Изготавливают гидроциклоны двух видов: литые нефутерованные диаметром от 75 до 500 мм и футерованные каменным литьем или шлакоситаллом диаметром от 150 до 2000 мм. Угол конусности гидроциклонов составляет 20°. В них обеспечивается извлечение из воды минеральных примесей размером более 0,1 ... 0,15 мм плотностью не менее 1,2 г/см³.

Потери напора в гидроциклоне зависят от его конструкции и расхода воды. С возрастанием расхода увеличивается скорость движения воды в аппарате, адекватно этому возрастает и эффект ее осветления; одновременно растут и потери напора в гидроциклоне.

К достоинствам гидроциклонов следует отнести: компактность, простоту устройства и отсутствие движущихся частей; высокую объемную производительность; большую скорость; возможность использования, особенно в условиях действующих предприятий, без затраты дополнительной площади; возможность соблюдения санитарных условий труда; непрерывность процесса и возможность автоматизации. Недостатками гидроциклонов являются: быстрый износ, особенно при обработке твердых материалов; колебания эффекта осветления в зависимости от состава и содержания взвешенных веществ в исходной воде; невозможность полного выделения частиц заданного размера, поскольку гидроциклон действует как пропорциональный разделитель.

Гидроциклоны целесообразно использовать в системах хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения для предварительного осветления поверхностных вод, обладающих высокой кратковременной мутностью (более 1500 мг/л).

Для осветления воды следует применять гидроциклоны литые нефутерованные, как наиболее дешевые и достаточно стойкие против истирания. ВНИИ ВОДГЕО разработаны открытые многоярусные гидроциклоны, которые могут быть использованы для частичного осветления воды перед поступлением ее на основные очистные сооружения.

Применение гидроциклонов вследствие их небольшой стоимости позволяет сократить затраты на строительство и эксплуатацию сооружений для предварительного осветления воды.

Следует иметь в виду, что эффект осветления в гидроциклонах возрастает с увеличением нагрузки по воде, это позволяет не предусматривать резерва на случай ремонта или замены.

4.2. Обработка воды флотацией

Флотация – метод отделения диспергированных и коллоидных примесей от воды, основанный на способности частиц прилипать к воздушным (газовым) пузырькам и переходить вместе с ними в пенный слой. Сущность этого процесса заключается в специфическом проявлении молекулярных сил, способствующих слипанию взвешенных частиц примесей в воде с пузырьками высокодиспергированного газа (воздуха), всплыванию образующихся агрегатов и формированию на поверхности воды пенного слоя, содержащего извлеченные вещества. При сближении в воде газового пузырька с гидрофобной поверхностью частицы примеси разделяющий их тонкий слой становится неустойчивым и разрывается. Вследствие кратковременности контакта частицы и пузырька при их столкновении вероятность слияния определяется кинетикой образования краевого угла смачивания.

Для успеха протекания процесса масса флотируемых частиц не должна превышать силы их прилипания к газовым пузырькам и их подъемной силы. Оптимальная крупность извлекаемых примесей находится в пределах $10^{-5} \dots 10^{-3}$ м, дисперсность пузырьков газа – $15 \cdot 10^{-6} \dots 30 \cdot 10^{-6}$ м, а поверхностное напряжение воды не должно превышать 0,06...0,065 н/м. С понижением поверхностного натяжения эффект очистки воды флотацией повышается, в отличие от отстаивания и фильтрования.

Интенсификация процесса флотации достигается гидрофобизацией поверхности извлекаемых примесей реагентами, которые, избирательно сорбируясь на поверхности частиц, понижают их смачиваемость, что улучшает процесс слипания дисперсий и коллоидов с пузырьками газа. В водоподготовке в качестве гидрофобизирующих реагентов применяют обычные коагулянты и флокулянты. После флотационной обработки осадок отработанных гидрооксидов занимает значительно меньший объем и влажность его ниже, чем осадка, образующегося в отстойниках.

Обработку воды флотацией рекомендуется применять при ее мутности до 150 мг/л и цветности до 200°. Это позволяет уменьшить объем водочистных сооружений вследствие ускорения в 3...5 раз процесса выделения

взвеси из воды, отказаться от микрофильтров, улучшить санитарное состояние очистных сооружений.

При 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, а также способы удаления пены оказывают существенное влияние на эффект обработки воды. Например, величина давления воды при образовании водовоздушной смеси оказывает влияние не только на количество воздуха, которое может быть растворено в воде, но и на размер выделяющихся затем пузырьков.

В химической технологии для растворения воздуха в воде широко используют емкостные аппараты (водовоздушные баки), размеры которых зависят от продолжительности контакта воздуха и воды. Время контакта, в свою очередь, связано со значением константы скорости растворения k . Так, при простом барботаже воды воздухом величина k составляет порядка $0,35 \text{ мин}^{-1}$, а время T , необходимое для его полного растворения, – $8...10$ мин. При введении воздуха с помощью эжектора $k = 0,8...1,0 \text{ мин}^{-1}$, а время сокращается до $T = 3...4$ мин.

В пневматических установках насыщение воды воздухом осуществляют компрессором, а в механических – турбиной насосного типа. Пневматические установки могут быть напорными и вакуумными.

В последние годы для обработки поверхностных вод умеренной мутности с большим содержанием органических соединений или планктона широко применяют напорную флотацию, при которой выделение взвеси из воды производится с помощью пузырьков газа, получаемых из перенасыщенного водовоздушного раствора. От общего потока отделяют $8...10$ % исходной воды, в которую под давлением $0,6...0,8$ МПа подают сжатый воздух, и эту водовоздушную смесь направляют в сооружение-флотатор, где распределяют в основной массе обрабатываемой воды. Вследствие падения давления во флотаторе из воды начинают выделяться мельчайшие пузырьки воздуха, необходимые для флотации легкой взвеси.

При напорной флотации время пребывания воды в напорном контактном резервуаре принимают до 2 мин, объем вводимого воздуха – $0,9...1,2$ % от объема обрабатываемой воды. Объем флотатора рассчитывают на $20...60$ мин пребывания воды, удельную нагрузку принимают $6...8 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, при пневматическом – до $7,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Использование коагулянтов в процессе обработки воды напорной флотацией позволяет значительно повысить эффективность ее обработки с удалением загрязнений, находящихся в воде в виде стойких

эмульсий и взвесей, а также коллоидном состоянии. На практике применяют две схемы флотационной очистки, показанные на рис. 4.3. В первом случае (а) для насыщения воздухом используют исходную неочищенную воду, а во втором (б) – воду, прошедшую очистку.

Недостатком первой схемы является то, что при использовании для насыщения воздухом неочищенной воды возможно засорение крупными примесями аппаратуры и распределительной системы. Во втором случае возможность засорения аппаратуры уменьшается, но необходимо увеличивать объем флотационной камеры на величину расхода воды, необходимого для приготовления водовоздушного раствора. Вторая схема, несмотря на некоторое удорожание, является более надежной.

В состав флотационных установок входят флотационные камеры, узлы подготовки и распределения водовоздушной смеси, устройства для удаления, отвода и декантации (разрушения пены). При применении коагулянтов также устраиваются камеры хлопьеобразования.

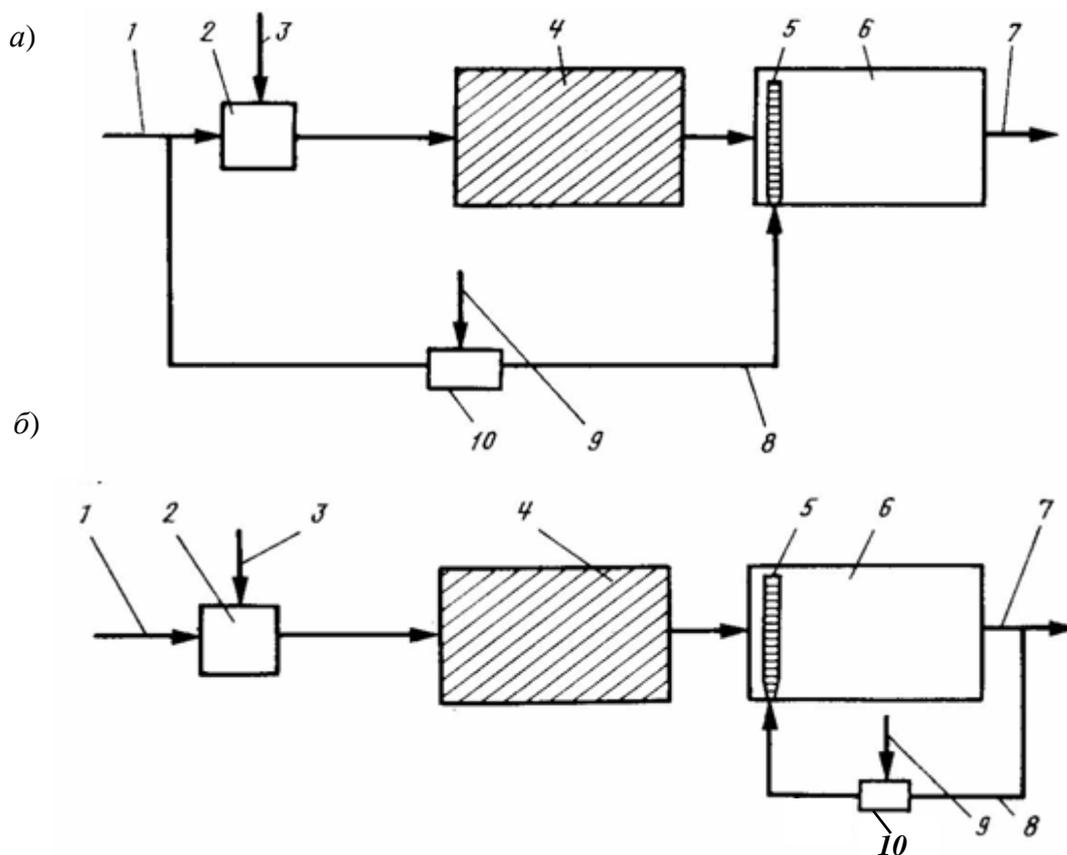


Рис. 4.3. Схемы напорной флотации при насыщении воздухом исходной (а) и очищенной (б) воды: 1, 7 – подача исходной и отвод очищенной воды; 2 – смеситель; 3 – подача реагентов; 4 – камера хлопьеобразования; 5 – распределительное устройство; 6 – флотатор; 8 – подача водовоздушной смеси; 9 – ввод воздуха; 10 – бак для растворения воздуха в воде

Флотационные камеры-флотаторы могут быть круглыми или прямоугольными в плане с радиальным (рис. 4.4) и горизонтальным (рис. 4.5) направлением движения воды. Последние применяются чаще и могут иметь квадратную или прямоугольную форму в плане. Длина камеры принимается 3...9 м, ширина – до 6 м, глубина слоя воды – 1,5...2,5 м.

Равномерное распределение водовоздушной смеси в основном объеме обрабатываемой воды достигается устройством перфорированного или пористого трубопровода из материала, стойкого к кислородной коррозии. Ниже трубопровода располагают кожух из такого же материала.

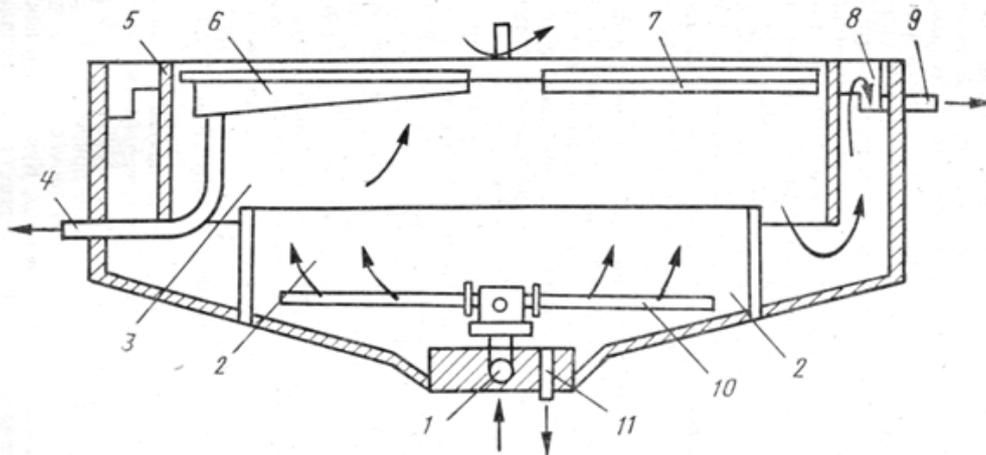


Рис. 4.4. Флотатор с радиальным движением воды: 1, 9 – подача исходной и отвод осветленной воды; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – флотационная камера; 4 – отвод пены; 5 – кольцевая перегородка; 6 – лоток для сбора пены; 7 – скребковое устройство для удаления пены; 8 – кольцевой водосборный лоток; 10 – вращающийся водораспределитель; 11 – отвод осадка

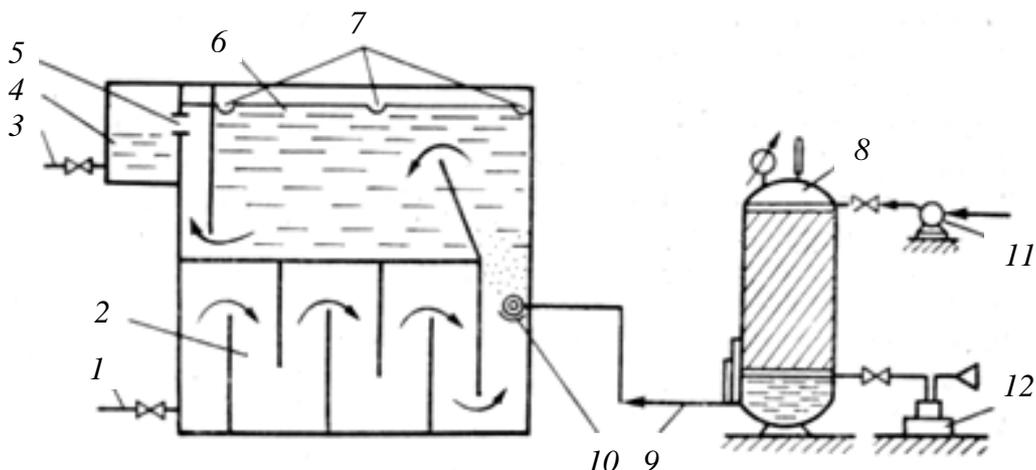


Рис. 4.5. Флотатор с нижней перегородчатой камерой хлопьеобразования: 1, 3 – подача исходной и отвод обработанной воды; 2 – камера хлопьеобразования; 4 – сборный канал; 5 – окна для отвода обработанной воды; 6, 7 – лотки для сбора и отвода пены; 8 – водовоздушный напорный бак; 9 – подача и распределительная система водовоздушной смеси; 10 – отражатель 11 – ц/б насос; 12 – компрессор

4.3. Обработка воды фильтрованием через сетки, ткани и пористые материалы

Для извлечения плавающих или грубодисперсных примесей, планктона из воды, особенно перед ее обработкой на основных сооружениях, используют фильтрование через сетки, ткани и пористые элементы. В производстве, при подготовке охлаждающей воды, этот метод водоподготовки может оказаться единственным и достаточным.

Процесс фильтрования осуществляется либо на поверхности, либо в глубине фильтрующего материала. Поверхностное фильтрование происходит при движении воды через сетчатые или тканевые перегородки (фильтрование под давлением или вакуумом, макро- и микрофильтрование), объемные элементы из пористых материалов значительной толщины (патронные фильтры и фильтры из пористой керамики), осадок, образующийся на каком-либо поддерживающем слое (например, песок – медленные фильтры; жесткие проницаемые каркасы с предварительно нанесенным фильтрующим слоем – намывные фильтры).

В зависимости от свойств фильтрующих основ и извлекаемых из воды примесей фильтрование состоит из следующих трех процессов: отложения, фиксации и отрыва. Механизм отложения бывает двух видов: механическое задержание извлекаемых примесей и отложение взвешенных частиц в порах. При механическом процеживании из воды извлекаются все примеси, превышающие размеры пор фильтрующей основы или пор, образующих задержанными частицами, которые сами являются фильтрующим слоем. При этом, чем меньше размеры пор фильтрующей основы, тем более высоким будет достигаемый эффект.

Выбор поверхностного или объемного фильтрования обусловлен качеством фильтрата, свойствами воды и ее загрязнений, а также экономическими соображениями. Тот или иной вид фильтрования сопряжен с определенными капитальными и эксплуатационными затратами, которые, в свою очередь, определяются предварительной обработкой воды, способами промывки аппаратов, степенью автоматизации процесса и способов контроля за ним.

Фильтрование через сетчатые перегородки осуществляют на открытых или напорных фильтрах. При этом различают три разновидности фильтрования: макрофильтрование, при котором из воды извлекают частицы крупностью более 150 мкм, микрофильтрование – частицы размером 1...150 мкм и ультрафильтрование – частицы размером 0,004...0,4 мкм.

Использование сетчатых фильтров ограничивается, как правило, размером ячеек сетки до 75 мкм. Применение сеток с ячейками меньших размеров приводит к резкому сокращению межпромывочного периода из-за интенсивного прироста потерь напора на фильтрующем элементе, что, с одной стороны, увеличивает расход воды на промывку и время непроизводительного простоя фильтров, а, с другой стороны, повышает вероятность локального непредсказуемого прорыва осадка, накопившегося на сетке, в поливные трубопроводы.

При макрофильтрации (макропроцеживании) через металлические перфорированные пластины или металлическую (полимерную) проволочную сетку с размером отверстий более 0,3 мм (барабанные сетки) из воды извлекают грубодисперсные и плавающие примеси, насекомых, травы, водоросли, ветки и т.п., имеющие размеры от 0,2 мм до нескольких миллиметров. Макрофильтрацию осуществляют на вращающихся макроситах и ситах с закрепленным скребком, работающих с малыми потерями напора, и на неподвижных или вращающихся самоочищающихся ситах и механических фильтрах, работающих под давлением. Вращающиеся макросита, применяемые при обработке воды, представляют собой или горизонтально располагаемые барабаны, или вращающиеся сита.

Для удаления из воды крупных плавающих примесей рекомендуются сита в виде неподвижной стальной пластины с отверстиями 2...5 мм. Задержанные взвешенные вещества удаляются скребком или щеткой, укрепленной на конце цепи (для прямого наклонного сита), или вращающимся устройством (для круглых сит) и направляются в сборник. Плоские сита целесообразно располагать в подводящих каналах шириной до 2,5 м; потери напора составляют до 0,5 м вод. ст.

Неподвижные или вращающиеся самоочищающиеся сита с размером отверстий 0,25...2 мм применяют для извлечения из воды относительно крупных взвешенных веществ. Неподвижные сита состоят из решетки, изготовленной из тонких прутьев, расположенных под переменным углом и смонтированных в жесткой раме. Прутья могут быть круглого, прямоугольного или треугольного сечений. Обрабатываемая вода подается в верхнюю часть сита, а осадок непрерывно удаляется с поверхности сита специальным скребковым устройством.

Вращающиеся сита состоят из цилиндрической решетки с горизонтальной осью вращения. Решетка образуется стальными прутьями трапецеидального профиля. Сито вращается с линейной скоростью 0,1...0,3 м/с. Извлеченные взвешенные вещества остаются на решетке и снимаются с нее не-

подвижным скребком. Вращающиеся и неподвижные сита рассчитаны на подачу воды до 1 тыс. м³/ч, допустимые потери напора составляют 2 м вод. ст.

Барабанные сетки (БС), устанавливаемые на водозаборе или площадке очистных сооружений до ввода в воду реагентов, используют для грубого осветления воды (рис. 4.6). Размер отверстий сетки (нержавеющая сталь или полимеры) составляет 0,5×0,5 мм. Рабочая сетка размещается между поддерживающими сетками с размером ячеек 10×10 мм. Барабан на 2/3 диаметра погружен в воду. Интенсивность фильтрования на БС принимают 25...62 л/с на 1 м² смоченной площади макросетки, подбор их осуществляют исходя из производительности водоочистной станции [3, 4, 7, 11, 12]. Расход воды на промывку барабанных сеток, подаваемой под давлением 0,2 МПа, составляет до 0,5 % обработанной воды, потери напора – около 0,1 м.

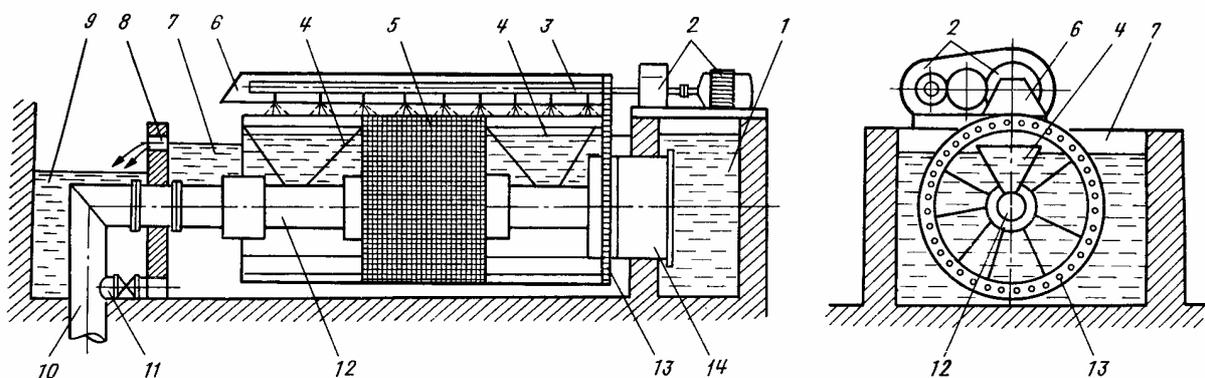


Рис. 4.6. Барабанная сетка (БС): 1 и 9 – канал исходной и профильтрованной воды; 2 – электропривод для вращения барабана; 3 – промывное устройство; 5 – фильтрующие элементы барабана; 6 – ограждение из оргстекла; 7 – камера БС; 8 – окна отвода фильтрата; 10 – отвод промывной воды; 11 – опорожнение; 12 – осевой трубопровод барабана с воронками 4 для сбора промывной воды; 13 – передаточный механизм; 14 – ввод исходной воды во внутрь барабана

Микрофильтрация в отличие от макрофильтрации осуществляют процеживанием воды через ткани или сетки с небольшими размерами проходных отверстий. Основная цель микрофильтрации – удаление планктона, содержащегося в поверхностных водах.

Эффективность работы микрофильтра ограничена несколькими факторами. Следует учитывать, что в начале фильтроцикла промытая фильтровальная сетка (металлическая, пластмассовая) не обеспечивает надлежащего задержания планктона, и степень очистки при этом определяется только размерами ее ячеек. Планктон может вновь размножиться, особенно если повысится температура воды. Яйца некоторых низших ракообразных могут легко проходить через фильтровальную сетку и развиваться, в ре-

зультате чего в последующих емкостях могут быть обнаружены видимые невооруженным глазом организмы. Из-за опасности коррозии фильтровальной сетки или ее подложки перед микрофильтрами нельзя применять предварительное хлорирование или озонирование воды, а поверхность фильтрования должна быть достаточно велика, чтобы обеспечить извлечение большого количества планктона, развивающегося в летнее время. Если она мала, то в периоды интенсивного развития планктона и во время паводков пропускная способность водоочистного комплекса может значительно снизиться.

Микрофильтры целесообразно использовать при содержании фитопланктона более 1000 клеток в 1 см³ исходной воды.

Эффективность снижения содержания взвешенных веществ в результате микрофильтрования составляет 30... 80 % (в среднем – около 50 %). Можно отметить, что хорошо работающий отстойник обеспечивает снижение содержания взвешенных веществ на 40...50 % без предварительного коагулирования и на 75...90 % – с предварительным коагулированием. Исследования показали, что микрофильтры задерживают до 75 % диатомовых и до 95 % сине-зеленых водорослей, а также до 100 % зоопланктона.

Микрофильтры (МФ) конструктивно не отличаются от барабанных сит (см. рис. 4.6), за исключением размеров сетки (ячейки 20...60 мкм), натянутой по образующей барабана. Скорость вращения барабана МФ принимается 0,05...0,3 м/с. Барабаны МФ также погружены в воду на 2/3 диаметра в камеру, которая предназначена для сбора фильтрата. Интенсивность фильтрования назначается в пределах 10...25 л/(с·м²) полезной площади микросетки, погруженной в воду. Потери напора на микросетке составляют до 0,2 м, а общие потери напора на установке достигают 0,5 м. Расход воды на промывку микрофильтров составляет до 1,5 % количества профильтрованной воды. Вода для промывки сетки подается под давлением 0,15...0,2 МПа.

В последние годы в отечественной практике для осветления мутных вод применяют акустические фильтры (АФ). Они рекомендуются для водоочистных установок производительностью до 5000 м³/сут (рис. 4.7). Акустический фильтр состоит из круглого металлического корпуса с коническим днищем, внутри которого по центру расположен фильтрующий элемент в виде металлического перфорированного стакана ($h = 0,3...0,6$ м, $d = 0,25...0,5$ м) скважностью 65 % с круглыми отверстиями 4 – 5 мм, обернутый микросеткой с размером ячеек 100...125 мкм. Штоком стакан со-

единен с плитой, прикрепленной к корпусу электромагнитного вибратора, опирающегося на четыре пружины, которые являются амортизаторами. Скорость фильтрования воды через сетку, на которой задерживаются примеси размером более 20...25 мкм, составляет 80...150 м/ч.

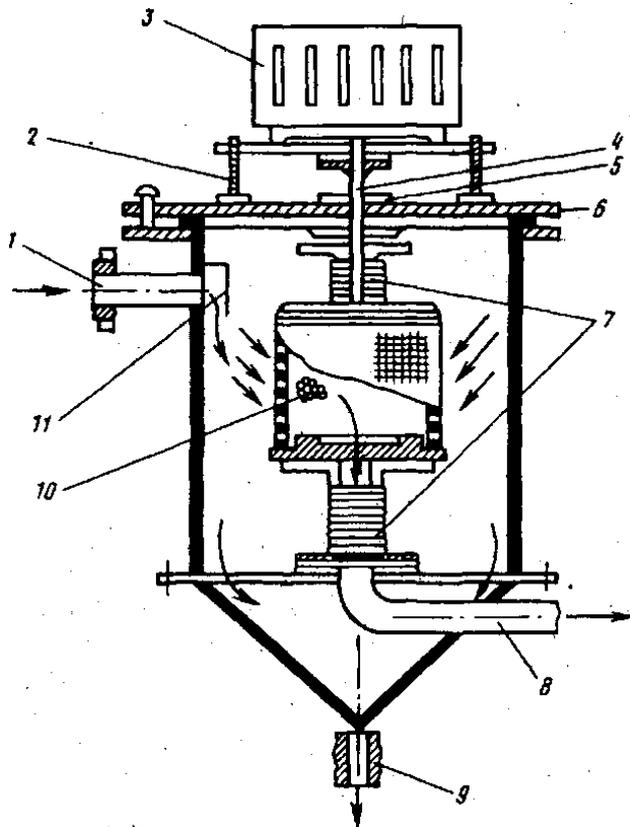


Рис. 4.7. Акустический фильтр: 1, 8 – подача исходной и отвод осветленной воды; 2 – амортизатор; 3 – электромагнитный вибратор; 4 – шток; 5 – регулирующая шайба; 6 – плита; 7 – сильфонные уплотнения; 9 – сброс осадка; 10 – фильтрующий элемент; 11 – гаситель энергии потока

гравитации постепенно осаждаются в конусной части фильтра и через систему насадок непрерывно отводятся в канализацию. Расход воды, удаляемой со шламом, составляет 3...5 % от полезной производительности акустического фильтра.

Исходная вода, пройдя через фильтрующий элемент, передается на последующие водоочистные сооружения.

4.4. Обработка воды фильтрованием через осадки

Обработку воды фильтрованием через свежевыделенные осадки производят на медленных и намывных фильтрах.

Общая высота фильтра составляет 1,2...1,4 м, диаметр – 0,4...0,6 м, площадь фильтрования – до 1,0 м², пропускная способность – до 100 м³/ч, допустимые потери напора – 0,5 м при давлении перед фильтром не менее 0,1 МПа. Для колебания штока применяется электромагнитный вибратор типа С-918 или С-921.

Обрабатываемая вода поступает в корпус фильтра по трубе, проходит через фильтрующий элемент, осветляется и отводится по трубе из корпуса. При работе фильтра вибратор создает возвратно-поступательное движение фильтрующего элемента, который обеспечивает задержание более мелких примесей воды, чем размеры ячеек микросетки, они не осаждаются на ней, не забивают ее, а под действием силы

В медленных фильтрах осветления воды достигают за счет пленочного фильтрования. Мелкозернистая фильтрующая загрузка, имеющая мелкие поры, вначале задерживает на своей поверхности наиболее крупные частицы. Последние, заклиниваясь в порах, сужают их сечение, благодаря чему начинает задерживаться более мелкая взвесь. Этот процесс быстро прогрессирует, в порах задерживаются все более и более мелкие частицы, а затем коллоиды и даже бактерии. Так на поверхности фильтра образуется фильтрующая пленка с очень тонкими порами. После этого качество фильтрата становится весьма высоким. Бактерии и органические вещества, задержанные пленкой, обуславливают возникновение в ней биологических процессов, включая развитие низших организмов. Зерна песка обрастают студенистой массой, являющейся хорошим сорбентом. В результате биологических процессов большинство (до 99 %) бактерий, находящихся в воде, задерживается пленкой и погибает. Созревшую фильтрующую пленку медленных фильтров называют биологической. С течением времени биологические процессы начинают захватывать и более глубокие слои (30...40 см). Здесь через 2...6 сут зерна песка также обволакиваются слизью, которая хорошо сорбирует коллоиды и бактерии, одновременно происходит уменьшение окисляемости примерно на 20...40 %, устранение аммиака, азотной кислоты и растворенного кислорода. Метод медленного фильтрования обеспечивает высокую степень очистки воды, не требует применения реагентов и обслуживания высококвалифицированным персоналом.

Стоимость очистки воды при методе медленного фильтрования в 3...5 раз меньше по сравнению с реагентным методом фильтрования на скорых фильтрах.

Медленные фильтры применяются для безреагентного осветления и частичного обесцвечивания воды поверхностных источников, если цветность ее не превышает 35...50°, а мутность – не более 700 мг/л. Производительность фильтров не лимитируется.

Фильтр (рис. 4.8) представляет собой железобетонный или кирпичный резервуар прямоугольной или круглой в плане формы, шириной не более 6 м и длиной до 60 м, открытый или закрытый, заполненный фильтрующим материалом – кварцевым песком, уложенным на поддерживающие слои с соответствующей дренажной системой. Толщина слоя кварцевого песка с крупностью зерен 0,3...1 мм принимается равной при регенерации с удалением слоя – 1200 мм, а при регенерации с промывкой слоя в фильтре – 400 мм. Количество фильтров должно приниматься не менее

трех. Медленные фильтры оборудуются дренажем из перфорированных труб, кирпича или бетонных плиток, уложенных с прозорами. Рекомендуется также пористый бетон, керамические плиты и др. В фильтрах с площадью до 10...15 м² дренаж можно не устраивать, загрузку укладывают непосредственно на бетонное дно, в котором делают лоток для отвода фильтрата; уклон дна должен быть не менее 0,1.

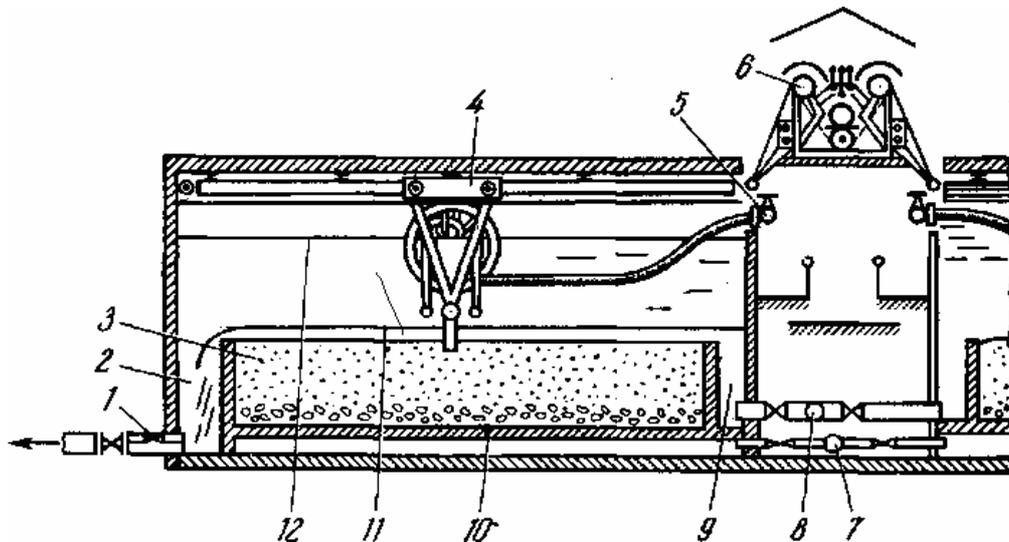


Рис. 4.8. Медленный фильтр конструкции В.С. Оводова: 1 – труба для отвода промывной воды; 2 – нижний карман; 3 – песчаный фильтрующий слой; 4 – каретка рыхлителя, движущаяся по монорельсу; 5 – трубопровод, подающий промывную воду к рыхлителю; 6 – механизм привода рыхлителя; 7 – трубопровод фильтрованной воды; 8 – трубопровод, подающий в корпус фильтра осветляемую воду; 9 – верхний карман; 10 – пористая бетонная плита (дренаж); 11, 12 – уровни воды при промывке и фильтровании; 13 – трубопровод, подающий промывную воду

Слой воды над поверхностью загрузки медленных фильтров должен приниматься не менее 1,5 м. При содержании взвешенных веществ в исходной воде до 25 мг/л скорость фильтрования принимают 0,2...0,3 м/ч, а при содержании взвеси 25...30 мг/л – 0,1...0,2 м/ч. В любом случае скорость фильтрования при форсированном режиме, когда часть фильтра отключается на регенерацию или ремонт, не должна превышать 0,3 м/ч.

По способу регенерации фильтрующей загрузки различают следующие конструкции: с удалением загрязненного слоя и отмывкой ее вне фильтра, с отмывкой загрязненного слоя в фильтре при механическом рыхлении и смыве загрязнений.

Вода на регенерацию медленного фильтра должна поступать от специального насоса или бака. Допускается регенерацию фильтра предусматривать за счет форсирования производительности насосов, подающих воду на освет-

ление, или за счет частичного использования емкости фильтров, работающих в режиме фильтрования. Применяют два способа удаления пленки:

- механический (вручную или при помощи механизмов – бульдозера, тельфера), по мере исчерпания грязеемкости загрузки верхний слой песка удаляют и отправляют на промывку, после чего его снова используют для загрузки;

- гидромеханический без удаления песка; производят механическое рыхление и гидросмыв загрязнений струей воды с большим напором из шлангов. Количество промывной воды определяется из расчета ее расхода 9 л/с на 10 м² площади фильтра продолжительностью 3 мин.

Обычно расход сырой воды на регенерацию составляет 2...3 % от общего количества профильтрованной за фильтроцикл воды.

Применение гидравлических рыхлителей поверхностного слоя загрузки при промывке позволяет расширить область применения безреагентного осветления воды на медленных фильтрах до 2,0...12,5 тыс. м³/сут.

Для созревания биологической пленки и медленного фильтра в целом необходимо от 2 сут и более. В.С. Оводов выделяет две фазы медленного фильтра: осветлительное созревание, когда фильтр начинает давать светлую воду, и бактерицидное, когда число бактерий в фильтрате снижается до допустимой нормы. Продолжительность осветлительного созревания – от одного до нескольких часов. Для бактерицидного созревания требуется 2...3 сут, а в случае свежей фильтрующей загрузки – и более.

При медленном фильтровании взвеси в основном (до 90...95 %) задерживаются на пленке и в самом верхнем слое фильтра толщиной около 2...3 см. В глубь песка вследствие небольшой скорости фильтрования и малого размера пор взвесь переносится в небольшом количестве, поэтому накопление ее в толще фильтрующего слоя идет очень медленно. В связи с этим при очистке медленных фильтров очищают только верхний слой песка. Часто этот слой просто удаляют, после чего фильтр снова может фильтровать воду. Вследствие малой скорости фильтрования накопление загрязнений в таком фильтре протекает замедленно. При небольшой мутности воды продолжительность работы фильтра составляет 1...2 месяца.

К числу недостатков медленных фильтров относится значительная строительная стоимость, непригодность для обработки высокоцветных вод, трудоемкость очистки фильтрующей поверхности и необходимость большой площади для их размещения. Например, при производительности 50 тыс. м³/сут для фильтров необходима площадь в 1 га, что главным образом и послужило причиной для отказа от применения их на крупных водо-

очистных станциях. Простота эксплуатации обуславливает целесообразность их использования при известных условиях на малых установках.

Установлено, что медленные фильтры работают достаточно эффективно и надежно при мутности исходной воды не более 50 мг/л, поэтому для воды с более высокой мутностью перед подачей ее на медленные фильтры для частичного осветления применяют предварительные фильтры (префильтры). При их проектировании расчетную скорость фильтрования воды принимают в зависимости от ее мутности в пределах 3...5 м/ч. Если мутность воды не превышает 100 мг/л, то скорость фильтрования принимают до 15 м/ч, при большей мутности ее уменьшают.

Слой воды над поверхностью фильтрующего слоя в префильтрах принимают равным 1,5 м. Промывку загрузки в них производят потоком фильтрованной воды, направленным снизу вверх. Распределительная система промывной воды должна быть с большим сопротивлением. Интенсивность промывки следует принимать в пределах 12...14 л/(с·м²) в течение 6...7 мин. Для отвода промывной воды в префильтрах применяют навесные желоба, верхнюю кромку которых располагают на 40...50 см выше фильтрующего слоя. Число фильтров должно быть не менее двух; если их общее число не превышает десяти, то должна обеспечиваться возможность выключения на ремонт одного фильтра, и двух фильтров – при большем их числе.

Префильтры в районах с мягким климатом, а также в случаях, когда они эксплуатируются только в период паводков или «цветения» воды в источнике, можно располагать на открытом воздухе. При этом в здании размещают задвижки, регуляторы скорости фильтрования и пульты управления. Необходимо предусматривать также полный сброс воды из префильтров и трубопроводов в зимний период.

Намывные фильтры (рис. 4.9) представляют собой открытые, напорные или вакуумные резервуары, внутри которых находятся фильтрующие элементы с размером ячеек 100...150 мкм (пористые керамические, сетчатые, каркасно-навитые), на которые предварительно намывают специальные фильтрующие порошки. В качестве фильтрующих порошков применяют диатомит, целлюлозу, бентонит, опилки и другие материалы с размером частичек 50...70 мкм.

На намывные фильтры рекомендуется подавать воду, содержащую до 40 мг/л взвешенных веществ, при ее цветности до 30°. В результате фильтрования примерно в 2 раза снижается содержание органических веществ, удаляются железо, марганец, масла и микроорганизмы.

Перед началом фильтрования на поверхность чистых фильтрующих элементов в течение 3...5 мин наносятся суспензии специального порошка, расход порошка составляет 300...400 г/м² фильтрующей площади.

За счет разности давлений в корпусе фильтра и внутри фильтрующего элемента на поверхности последнего удерживается равномерный слой порошка. Через некоторое время на поверхности фильтрующего порошка может образоваться плотная пленка, приводящая к резким потерям напора. Поэтому режим работы фильтров изменяют. После зарядки фильтра в воду непрерывно или периодически добавляют 3...10 мг/л фильтрующего порошка. Этот прием помогает значительно удлинить фильтроцикл.

Промывают намывные фильтры осветленной водопроводной водой в течение 15 мин подачей ее через фильтрующие элементы в направлении, противоположном движению воды при фильтровании. Расход воды на промывку составляет 0,5...0,7 % от ее исходного количества.

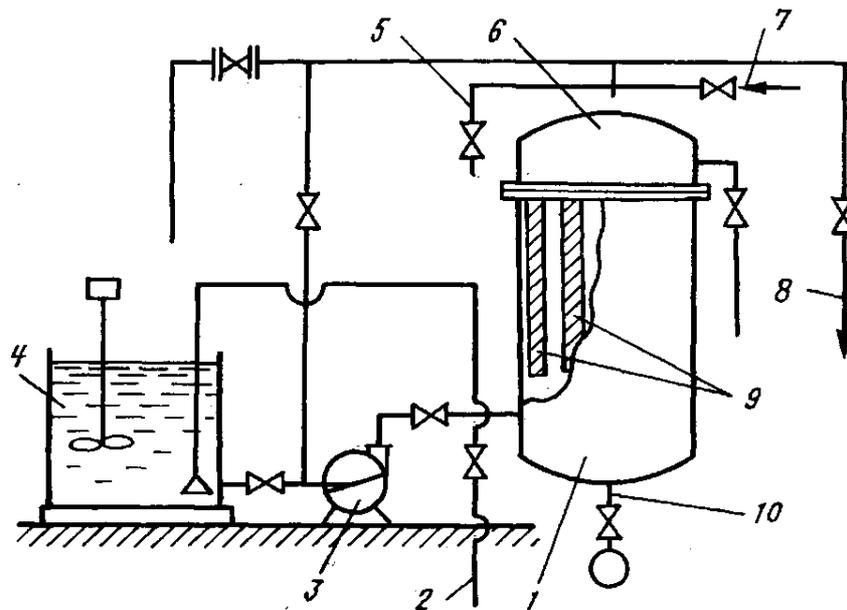


Рис. 4.9. Намывной фильтр: 1 – распределительный объем фильтра; 2, 8 – подача и отвод воды; 3 – насос; 4 – бак приготовления фильтрующей суспензии; 5 – сброс воздуха; 9 – фильтрующие керамические патроны; 6 – камера обработанной воды; 7 – подача промывной воды; 10 – сброс осадка

4.5. Биореакторы для биологической предочистки воды

Основным назначением биореакторов является обработка воды от взвешенных веществ, представленных в основном органическими веществами. Остаточное содержание взвеси не превышает 10...15 мг/л, но следует помнить, что при этом может нарушаться стабильность воды, связанная, прежде всего, с понижением величины рН водной среды.

Использование блока биологической предочистки природных вод диктуется следующими показателями качества очищаемой воды: перманганатная окисляемость, ХПК, хлоропоглощаемость, общее количество микроорганизмов, концентрация взвешенных веществ, температура воды, содержание планктона. Если в природной воде наблюдается постоянно низкая температура ($T < 5 \text{ }^\circ\text{C}$) и имеются токсичные ингредиенты, препятствующие и подавляющие на насадках-носителях образование, развитие и закрепление микроорганизмов биоценоза, то данный метод применять нецелесообразно.

Устройство биореакторов (рис. 4.10) возможно непосредственно в русле водотока, ковшах, приемных отделениях береговых колодцев насосной станции первого подъема, в зданиях очистных сооружений водопровода.

Производительность установок заводского изготовления и стационарных блоков биологической предочистки воды на водоочистной станции может назначаться в пределах от 5 до $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ и более при соответствующем технико-экономическом обосновании.

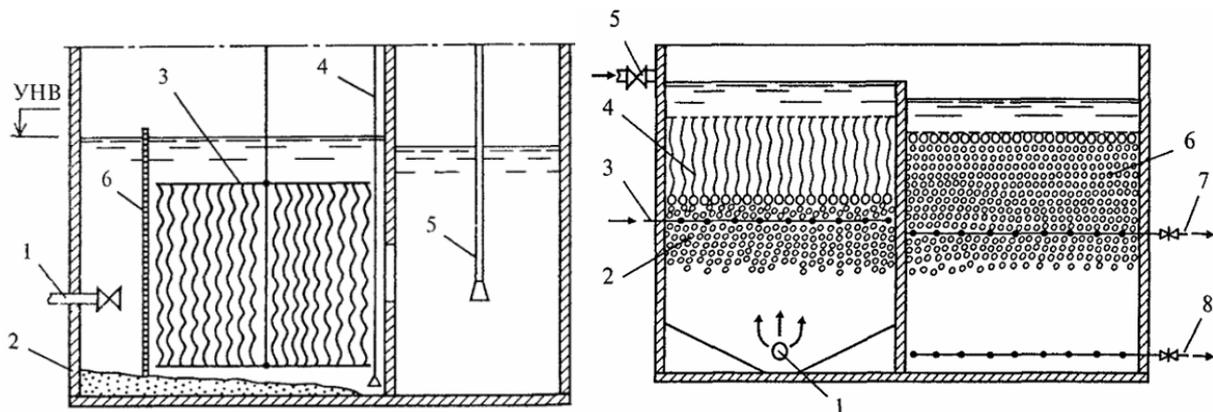


Рис. 4.10. Варианты размещения блоков биологической предочистки (*а* – в приемном отделении берегового колодца, *б* – биореактор, совмещенный с фильтром с плавающей загрузкой): 1 – трубопровод подачи исходной воды; 2 – стенки колодца; 3 – каркас с волокнистой загрузкой; 4 – гидроэлеватор; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – перфорированная перегородка; 7 – плавающая загрузка; 8 – подача воздуха

Конструкция биореактора может быть выполнена из блочного или сборного железобетона, труб большого диаметра, железобетонных колец.

Биореактор должен быть оборудован трубопроводами подачи исходной воды, отвода фильтрата и промывной воды. Для дополнительной аэрации обрабатываемой воды и насадки биореактор оборудуют устройством для равномерного распределения воздуха по его площади.

Крепление элементов насадки для наращивания активного ила выполняется непосредственно к армированной решетке или каркасам из переплетенной проволоки.

Конструкция элементов биореактора рассчитывается таким образом, чтобы не происходило разрушение (отрыв) элементов биоценоза.

При высоком содержании в исходной воде взвешенных веществ для увеличения эффективности очистки воды и предотвращения быстрой коагуляции загрузки при нисходящем движении воды возможно использование предварительного нижнего слоя носителей из гранул плавающей пенополистирольной загрузки. Такая конструкция используется не только для предварительной очистки воды от различных примесей, но и обеспечивает сжатие и расширение слоя волокон в режимах фильтрования и промывки.

Расчет биореактора заключается в определении его размеров, необходимого количества наполнителя из волокнистой загрузки, производительности воздуходувки, системы химической регенерации волокон (в случае необходимости).

Геометрические размеры биореактора определяют в зависимости от производительности проектируемой станции и необходимой степени очистки воды. Скорость фильтрования воды через загрузку рекомендуется принимать в пределах от 3 до 8 м/ч, а необходимое время контакта воды с поверхностью волокон в зависимости от степени загрязнения воды органическими веществами и средней температуры воды – не менее 10 мин.

Общая высота биореактора складывается из высот активной части насадки, надфильтрового пространства, отстойной части (конструктивно может быть принята 0,5...1,0 м) и необходимого строительного запаса (0,1...0,3 м). Полный цикл работы биореактора рассчитывается как сумма продолжительности его работы до окончания «зарядки», полезных периодов работы и промывки биореактора водой или регенерации носителей от избыточной биомассы с использованием обеззараживающих реагентов.

Элементы насадки (волокна, гранулы ПСВ, керамзит, щебень и др.) должны быть стойкими по отношению к действию микроорганизмов, обладать высокой прочностью и стойкостью, не растворяться в агрессивных средах. Предпочтение следует отдавать волокнистым материалам с высокоразвитой удельной поверхностью (например, капрон, лавсан и др.). Все материалы должны быть разрешены Минздравом Республики Беларусь к применению в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения. Исходя из диаметра нити и необходимой степени наполнения загрузкой аппарата

находится длина волокон с учетом их увеличения на 5...10 см для крепления к каркасу.

По мере зарастания загрузки необходимо производить ее промывку. Промывка нужна для удаления избыточных загрязнений, задержанных загрузкой, и предотвращения вторичного загрязнения воды. При снижении эффективности очистки воды на биореакторе по отдельным показателям (например, взвешенным веществам), но при достаточно высокой эффективности снижения органических соединений, определяемых по перманганатной окисляемости и ХПК, а также хлоропоглощаемости воды, интенсивность промывки и ее продолжительность следует принимать 8...10 л/(с·м²) и 1...3 минут соответственно. При таких параметрах промывки биоценоз обрастания разрушается лишь частично и достаточно быстро восстанавливает прежнюю активность (достаточно несколько часов), а с поверхности загрузки удаляются накопившиеся продукты метаболизма и взвешенные вещества. Для более полной десорбции загрязнений необходимая интенсивность промывки составляет 12...18 л/(с·м²) при ее продолжительности 4...6 мин.

При сильном зарастании загрузки в промывную воду дополнительно добавляют обеззараживающий раствор, например, 5 % раствора медного купороса с дозой 2-3 мг/л.

В процессе эксплуатации при изменении качества воды степень наполнения загрузкой биореактора может оперативно изменяться путем регулирования натяжения нитей или их количеством.

ТЕМА 5. ОТСТАИВАНИЕ ВОДЫ

5.1. Общие сведения по отстаиванию воды

Осаждение взвешенных частиц происходит под действием силы тяжести. Современные конструкции отстойников, применяемые для осветления воды, являются проточными, так как осаждение взвеси в них происходит при непрерывном движении воды от входа к выходу. Скорости движения воды в отстойниках должны быть малы: они измеряются десятками долями мм/с в вертикальных и несколькими мм/с – в горизонтальных, тонкослойных и радиальных отстойниках. При таких малых скоростях поток почти полностью теряет свою так называемую транспортирующую способность, обусловленную интенсивным турбулентным перемешиванием. Осаждение взвеси в потоке, движущемся с весьма малой скоростью, происходит практически по законам осаждения в неподвижном объеме жидкости.

Седиментация зернистой взвеси подчиняется более простым закономерностям, чем неустойчивой взвеси, но эти же закономерности с определенными допущениями применяют для расчета осаждения и неустойчивой взвеси. Осаждение зернистой взвеси описывается линейным законом Стокса:

$$F_c = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot u \cdot d ,$$

где F_c – сила сопротивления; η – вязкость жидкости; u – скорость осаждения частицы (гидравлическая крупность), которая определяется по формуле Стокса:

$$u = \frac{d^2}{18} \cdot \frac{\rho_q - \rho_{жс}}{\eta} \cdot g ,$$

где ρ_q – плотность частицы; $\rho_{жс}$ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; d – диаметр частицы.

Этот закон (при $Re = \nu H/\nu < 10$) определяет силу сопротивления, испытываемую частицей при падении в жидкости, которая изменяется пропорционально скорости, т.е. по линейному закону. Закон справедлив для частиц очень малого размера, осаждающихся с малой скоростью (ламинарный режим), когда на сопротивление движению оказывают влияние только силы вязкости. С возрастанием размера и скорости осаждения частиц линейный закон нарушается. Это обусловлено возникновением турбулентности при обтекании движущейся частицы жидкостью, когда, помимо вязкости, на движение частицы начинают влиять инерционные силы.

Технологическое моделирование процесса осаждения заключается в определении в лабораторных условиях расчетных параметров отстойников: скорости осаждения взвеси и продолжительности пребывания воды в отстойнике, обеспечивающей заданный эффект ее осветления. Методика моделирования основана на подобии кривых выпадения взвеси, получаемых при различных высотах столба исследуемой воды. Это подобие является точным при осаждении неустойчивой, коагулированной взвеси. Благодаря подобию кривых выпадения взвеси оказывается возможным моделировать этот процесс в цилиндрах с небольшой высотой столба воды. При этом время, в течение которого достигается определенный эффект осаждения, значительно уменьшается по сравнению со временем осаждения в отстойниках. Это позволяет сократить время экспериментальных исследований и сравнительно быстро определить необходимые параметры для расчета отстойников.

На рис. 5.1, *а* представлено семейство кривых выпадения полидисперсной зернистой взвеси. Каждая кривая получена при различных значениях высоты столба воды: кривые отличаются друг от друга только формой. Одинаковый эффект осаждения достигается при различной продолжительности отстаивания, но все кривые подобны между собой. Если изменить масштаб оси абсцисс (масштаб времени) и отложить по этой оси вместо значений времени значения t/h , то все кривые совместятся в одну (рис. 5.1, *б*). Это обстоятельство дает весьма простое правило пересчета времени, необходимого для получения заданного эффекта осаждения по результатам технологического моделирования.

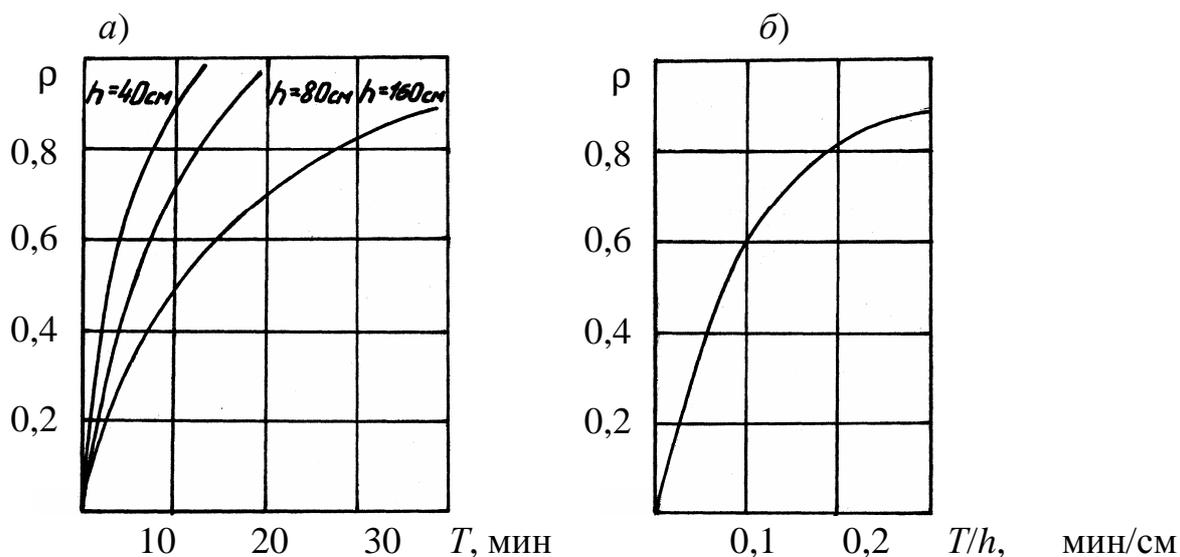


Рис. 5.1. Графики седиментации зернистой полидисперсной взвеси при разной высоте осаждения (*а*) и совмещенная кривая осаждения (*б*)

При осаждении неустойчивой коагулирующей взвеси для расчета отстойников следует пользоваться выражением

$$\frac{T_p}{T_1} = \left(\frac{h_p}{h_1} \right)^n,$$

где h_p , T_p – соответственно расчетная высота зоны осаждения и продолжительность пребывания воды в проектируемом отстойнике; h_1 , T_1 – то же в лабораторной установке; n – эмпирическая величина; $n = 0,2 \dots 0,5$.

Как показала практика применения отстойных сооружений, перед отстаиванием необходимо время для образования и созревание хлопка коагулянта с тем, чтобы в отстойниках проходил только процесс отстаивания. Очень часто для этого используются отдельные сооружения, которые получили название камеры хлопьеобразования (КХО).

5.2. Камеры хлопьеобразования

Камеры хлопьеобразования служат для плавного перемешивания обрабатываемой воды (в свободном ее объеме) с растворами вводимых реагентов и, прежде всего, коагулянта. При этом кристаллизация и укрупнение хлопьев коагулянта происходит постепенно в течение некоторого времени, обычно не более 6...30 минут.

По принципу действия камеры хлопьеобразования подразделяют на гидравлические и механические (флокуляторы). Для водоочистных станций большой производительности обычно используются камеры хлопьеобразования гидравлического типа: вертикальные (вихревые), зашламленные (камеры хлопьеобразования со взвешенным осадком), водоворотные, перегородчатые (поворотные) с горизонтальным или вертикальным движением воды, а также камеры с рециркуляцией осадка.

После смешения раствора реагентов с водой первоначально протекает стадия скрытой коагуляции, характеризующаяся формированием первичных мельчайших хлопьев на центрах кристаллизации, представляющих собой примеси противоположного заряда, а затем в результате их роста образуются крупные видимые агрегаты. При этом на образование прочных структур хлопьев оказывает влияние применяемый коагулянт, солевой состав обрабатываемой воды, температура, интенсивность и продолжительность перемешивания. Например, структура образующихся хлопьев гидроксида железа значительно прочнее, и они имеют большую плотность, чем хлопья гидроксида алюминия, а возрастание концентрации гидрокарбона-

тов и хлоридов повышает прочность формирующихся хлопьев и, наоборот, увеличение содержания сульфатов понижает ее. Интенсивность перемешивания воды в камерах хлопьеобразования не должна быть слишком большой, чтобы не разрушить сформировавшиеся хлопья. Это достигается путем изменения скорости движения потока или частоты вращения мешалки (40...60 мин⁻¹). Продолжительность процесса хлопьеобразования обеспечивается принятым объемом сооружения.

При обработке маломутных цветных вод ускорения хлопьеобразования можно достичь искусственным замутнением обрабатываемой воды, вводя в нее осадок из отстойников или суспензию глины, частицы которых являются центрами кристаллизации.

В современной практике камеры хлопьеобразования встраивают в отстойники или располагают вплотную к ним с тем, чтобы избежать разрушения хлопьев при передаче воды из камеры в отстойник. Согласно

[1, 3, 4, 7, 11, 12] скорость движения воды по пути из камеры в отстойник не должна превышать 0,1 м/с для мутных вод и 0,05 м/с для цветных. При числе камер хлопьеобразования менее шести принимают одну резервную.

Перегородчатую камеру применяют на крупных водоочистных комплексах с производительностью не менее 30 000 м³/сут (рис. 5.2). Камера представляет собой прямоугольный железобетонный резервуар с перегородками, образующими 9...11 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. 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 минут (минимальное

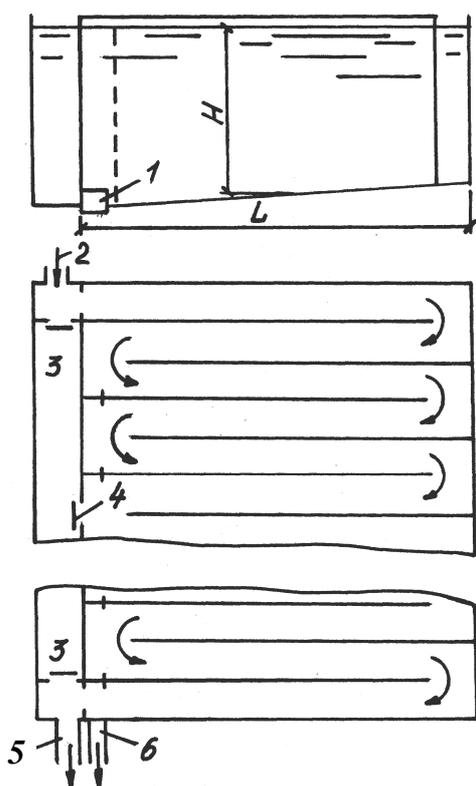


Рис. 5.2. Схема перегородчатой камеры хлопьеобразования с горизонтальной циркуляцией воды: 1 – отверстие в стенке для выпуска осадка; 2 – подвод воды; 3 – обводной канал; 4 – промежуточный выпуск; 5 – выпуск воды; 6 – выпуск осадка

время – для мутных вод, максимальное – для цветных с пониженной температурой).

Камеру хлопьеобразования вертикального типа (рис. 5.3) проектируют с вертикальными или наклонными стенками (угол между стенками $50...70^\circ$). Обычно ее встраивают в горизонтальный отстойник или располагают вплотную к нему.

Принцип работы камеры заключается в том, что перемешивание воды происходит при ее движении снизу вверх вследствие значительного уменьшения скорости движения (от $0,7...1,2$ 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 отстойник следует осуществлять при скорости ее движения в сборных лотках или трубах, а также в их отверстиях не более $0,05$ м/с для цветных вод и $0,1$ м/с – для мутных. При устройстве желоба необходимо предусматривать треугольные водосливы или затопленные отверстия для равномерного сбора воды. Для интенсификации работы камеры в ее верхней части размещают тонкослойные модули.

Камеру хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка и вертикальными перегородками (рис. 5.3) применяют для вод с мутностью до 1500 мг/л (встраивают в горизонтальный отстойник). Скорость горизонтального потока принимается $0,05...0,1$ м/с со временем пребывания воды в камере не менее 20 мин.

Вода, поступающая из смесителя, по каналу b через водослив 4 подается в приемный карман и по вертикальному трубопроводу направляется в дырчатые распределительные каналы 2 (или перфорированные трубы). Здесь вследствие уменьшения скорости воды образуются хлопья скоагулированной взвеси, которые агломерируются и укрупняются при движении воды вверх через слой взвешенного осадка камеры высотой не менее 2 м. В верхней части отстойника устраивают отбойный щиток, направляющий поток воды, которая прошла камеру хлопьеобразования.

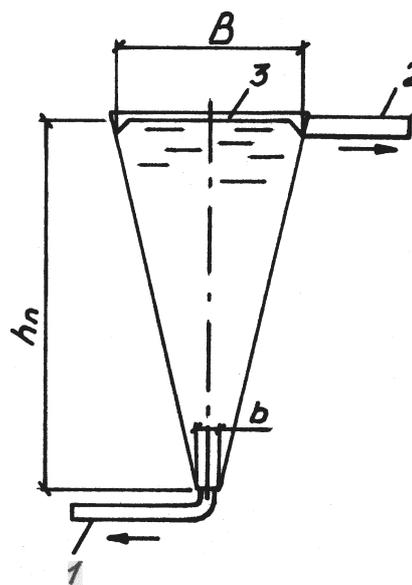


Рис. 5.3. Вертикальная камера хлопьеобразования: 1 – подвод исходной воды; 2 – отвод воды после камеры хлопьеобразования; 3 – кольцевой желоб

Камера хлопьеобразования водоворотного типа (рис. 5.4) совмещается с вертикальным отстойником и располагается в центральном стволе. Область применения водоворотных камер определяется применимостью вертикальных отстойников. Вода подается в верхнюю часть 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. Вода, выходя из сопел со скоростью 2...3 м/с, приобретает вращательное движение вдоль стенок камеры и движется сверху вниз. Для гашения вращательного движения воды при ее переходе в отстойник, которое могло бы ухудшить его работу, в нижней части камеры устанавливают гаситель в виде перегородки высотой 0,8 м. Время пребывания воды в камере принимают 15...20 мин, а ее высоту – на 10 % меньше высоты вертикальной части отстойника. Иногда устраивают одну камеру хлопьеобразования на комплекс вертикальных отстойников.

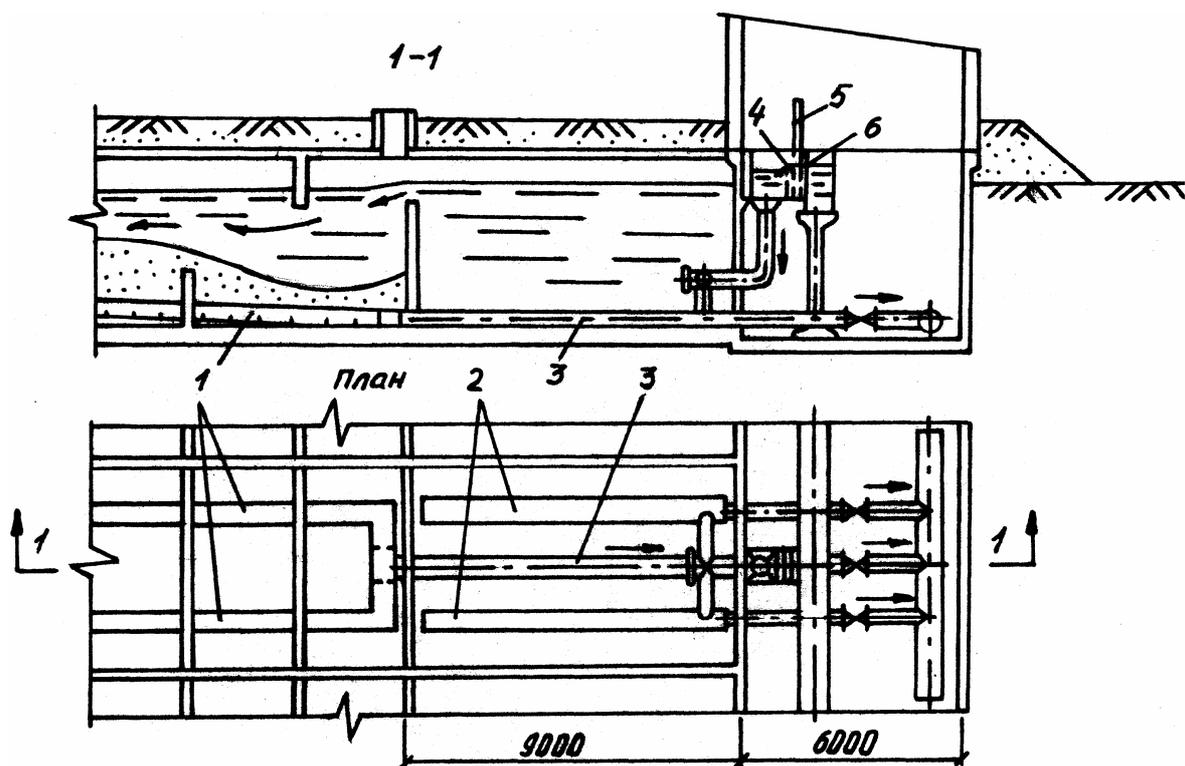


Рис. 5.4. Встроенная камера хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка: 1 – дырчатый канал для спуска осадка; 2 – дырчатый распределительный перфорированный канал; 3 – выпуск осадка из отстойника; 4 – подача воды через водослив; 5 – шибер; 6 – подающий канал из смесителя

Флокуляторы (механические камеры хлопьеобразования) применяются для обработки мутных вод на средних и крупных водоочистных комплексах (рис. 5.5, а). Плавное перемешивание воды для завершения про-

цесса 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 шт. 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 воды площади их лопастей. Окружную скорость вращения мешалок принимают 0,3...0,5 м/с.

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). Оптимальным является применение пропеллерных мешалок, создающих аксиальные потоки, ослабляющие процесс разрушения образовавшихся хлопьев (Г.Н. Николадзе, Ч.С. Лай). Следует принимать не менее трех секций камеры с зигзагообразной траекторией движения потока; градиент скорости должен быть убывающим по ходу от 100 до 25 – 50 с⁻¹ в последней секции; мешалки целесообразно размещать на вертикальной оси.

Преимуществами флокуляторов по сравнению с камерами гидравлического типа являются небольшие потери напора, простота конструкции, оптимизация процесса хлопьеобразования путем изменения частоты вращения мешалок. К недостаткам можно отнести дополнительный расход электроэнергии, высокие требования к материалам деталей, что удорожает сооружение в целом.

Аэрофлокуляторы, представляющие собой барботажные камеры хлопьеобразования, получают все более широкое распространение в технологии водоподготовки благодаря дешевизне и доступности воздуха, невысокой стоимости оборудования, высокого эффекта хлопьеобразования. В аэрофлокуляторах используют слабое перемешивание сжатым воздухом, обычно с интенсивностью 0,15...0,25 м³/(м²·мин), при этом расход воздуха не превышает 5 % расхода обрабатываемой воды. 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. При применении аэрофлокуляторов для обработки мутных вод производительность горизонтальных отстойников повышается в 1,5...2 раза.

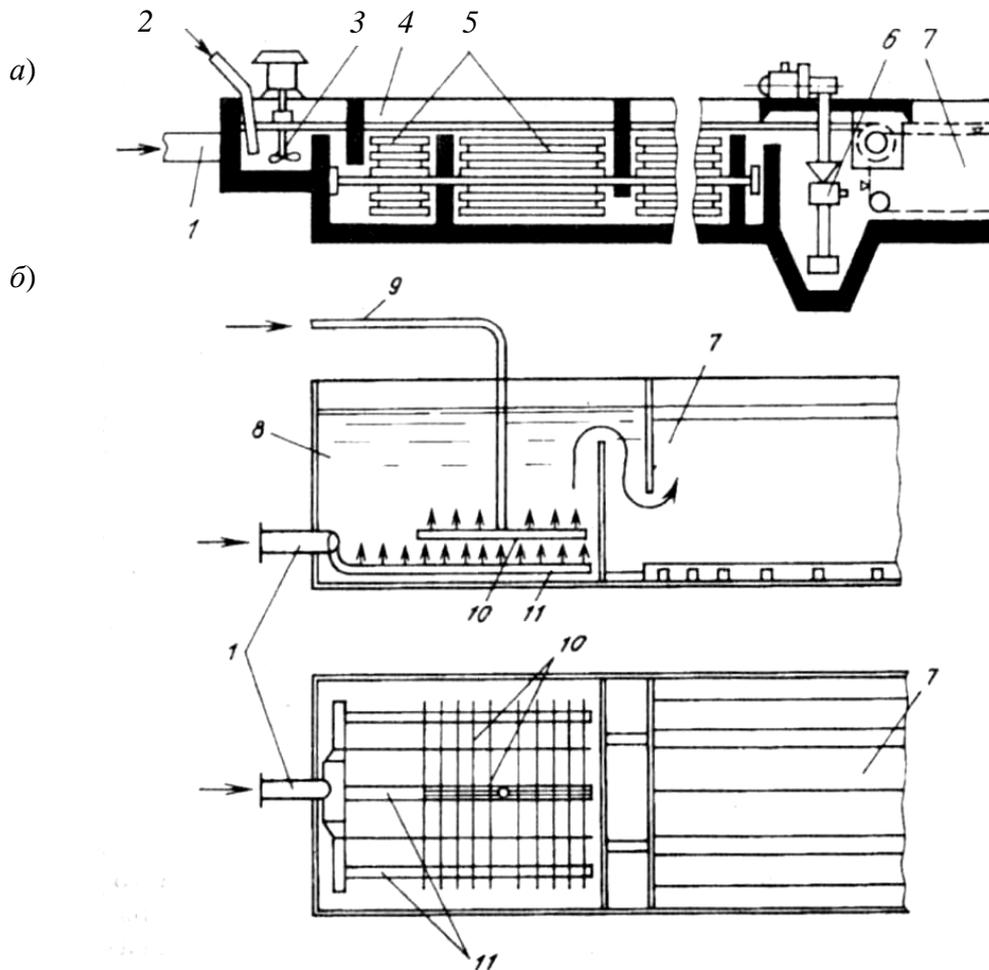


Рис. 5.5. Флокулятор (а) и аэрофлокулятор (б), совмещенные с горизонтальным отстойником: 1, 2 – подача воды и реагента; 3 – мешалка смесителя; 4 – флокулянт; 5 – мешалка на горизонтальной оси; 6 – грязевой насос; 7 – горизонтальный отстойник; 8 – камера флокулятора; 9 – подача воздуха; 10, 11 – воздухо- и водораспределительные трубчатые перфорированные системы

В отличие от механического перемешивания при одинаковом градиенте скорости длительное пневматическое перемешивание воды не приводит к нарушению свойств коагулированной взвеси.

Аэрофлокулятор (рис. 5.5, б) представляет собой прямоугольную в плане камеру, объем которой рассчитан на 6...12-минутное пребывание воды, с желобчатым днищем, встроенную в горизонтальный отстойник. В основании 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.

5.3. Типы отстойников, область применения

В практике водоподготовки для предварительного осветления воды перед поступлением ее на скорые фильтры применяют горизонтальные, вертикальные, радиальные и тонкослойные отстойники.

Радиальный отстойник – круглый в плане железобетонный резервуар, высота которого невелика по сравнению с его диаметром. Вода в отстойнике движется от центра к периферии в радиальном направлении, близком к горизонтальному. Радиальные отстойники из-за неудовлетворительной гидродинамической структуры потока, содержащей мелкодисперсные примеси, в практике водоподготовки населенных мест не нашли применения. Их рекомендуется использовать при обработке высокомутных вод и в системах оборотного водоснабжения [1, 3, 4].

В радиальном отстойнике 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 дырчатой стенкой, суммарную площадь отверстий которой находят при скорости движения воды в них 1 м/с, при этом диаметр отверстий принимают 40...50 мм. Наличие такого цилиндра способствует более 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. Для равномерного отбора осветленной воды по периметру периферийного кольцевого желоба в его стенках на глубине 120...150 мм от поверхности воды устраивают отверстия диаметром 25...30 мм или треугольные водосливы высотой 40...60 мм, располагаемые на расстоянии 100...150 мм в осях. Общую площадь отверстий подсчитывают по скорости движения воды в них 0,7 м/с. Скорость движения воды в желобе принимается 0,5...0,6 м/с.

Для удаления осадка служит медленно вращающаяся металлическая ферма с укрепленными на ней скребками, сгребающими осадок к центру отстойника, откуда он непрерывно или периодически выпускается или откачивается. Одним концом ферма опирается на опору в центре отстойника, а другим – на тележку,двигающуюся по стенке отстойника.

Вертикальный отстойник – круглый в плане (может быть квадратным) железобетонный резервуар значительной глубины, в котором обрабатываемая вода движется вертикально – снизу вверх (рис. 5.6).

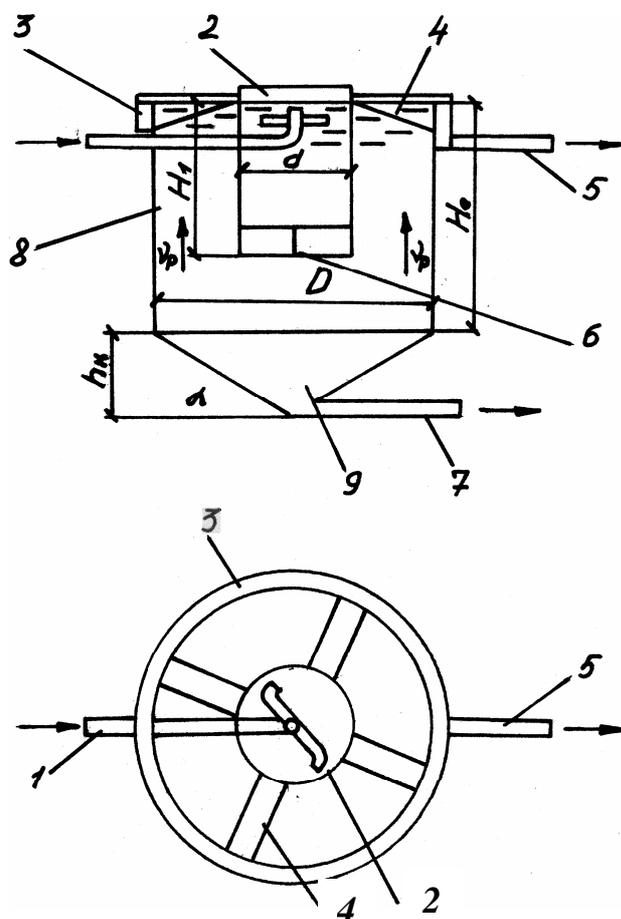


Рис. 5.6. Вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования водоворотного типа: 1 – подача исходной воды; 2 – камера хлопьеобразования водоворотного типа; 3 – кольцевой водосборный желоб; 4 – радиальный водосборный желоб; 5 – отвод осветленной воды; 6 – гаситель; 7 – удаление осадка; 8 – зона осветления воды; 9 – зона накопления и уплотнения осадка

при наличии конусообразного днища и отражательного щита выпуск накопившегося и уплотненного осадка может производиться во время работы отстойника.

При числе рабочих отстойников менее шести необходимо предусматривать один резервный.

Высота зоны осаждения вертикального отстойника, которая практически совпадает с его вертикальной частью, составляет 4...5 м, а отношение диаметра к высоте – 1,0...1,5.

Вертикальные отстойники рекомендуется использовать при мутности до 1500 мг/л и цветности до 120° обрабатываемой воды и при производительности водоочистного комплекса до 5000 м³/сут, хотя нормативными документами их производительность не ограничена.

Вертикальный отстойник проектируется со встроенной камерой хлопьеобразования водоворотного типа в центральной трубе и с конусным днищем для накопления и уплотнения осадка. Угол между наклонными стенками, образующими днище, следует принимать 70...80°. Сброс осветленной воды предусматривается периферийными и радиальными желобами с затопленными отверстиями или с треугольными водосливами. Сечение водосборных желобов определяют по скорости движения воды в них 0,5...0,6 м/с.

В вертикальном отстойнике

Период работы отстойника между сбросами осадка должен быть не менее 6 ч.

Горизонтальный отстойник (рис. 5.7) – прямоугольный, вытянутый в направлении движения воды резервуар, в котором осветляемая вода вдоль отстойника движется в горизонтальном направлении.

Различают одно- и двухэтажные горизонтальные отстойники. Отстойники, используемые для предварительного осветления воды, могут быть устроены в земле с креплением или без крепления откосов.

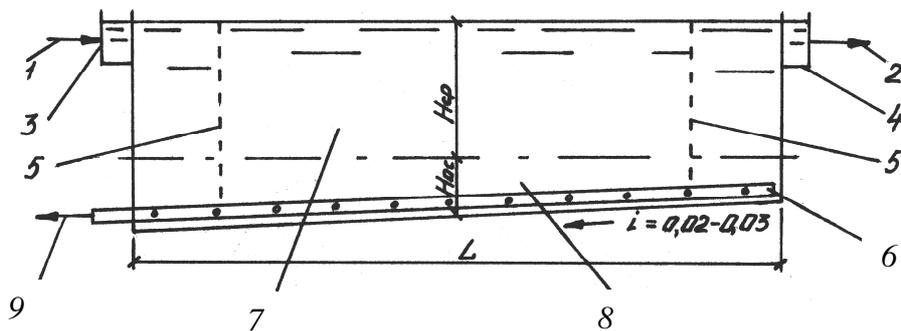


Рис. 5.7. Схема работы горизонтального отстойника: 1 – подача исходной воды; 2 – отвод очищенной воды; 3 – распределительный лоток; 4 – сборный лоток; 5 – дырчатые перегородки; 6 – дырчатые трубы для сбора осадка; 7 – зона осаждения взвеси; 8 – зона накопления осадка; 9 – отвод осадка

Горизонтальные отстойники в отечественной практике рекомендуется применять при мутности до 1500 мг/л и цветности до 120° обрабатываемой воды и при пропускной способности водоочистного комплекса свыше 30 000 м³/сут. В условиях с продолжительными периодами устойчивых минусовых температур их устраивают в здании. Обычно со стороны входа воды отстойники совмещают с камерами хлопьеобразования зашламленного или вихревого типа. В южных районах с теплым климатом отстойники устраивают открытыми.

Отстойник разделяют в продольном направлении перегородками на самостоятельно действующие секции шириной 3...6 м (в зависимости от шага колонн, поддерживающих перекрытие). При количестве секций менее шести необходимо предусматривать одну резервную. Длину секции отстойника принимают в 8...10 раз больше принятой ширины, но не более 60 м. Для равномерности распределения воды в поперечном сечении около стен отстойника устраивают вертикальные дырчатые перегородки, принимая диаметр отверстий 80...100 мм и располагая их рядами по ширине и высоте в шахматном порядке.

Дно отстойника имеет продольный уклон не менее 0,005 в направлении, обратном движению воды. В поперечном направлении оно может быть плоским или призматическим с углом наклона граней 45° .

Для удаления осадка без отключения отстойника из работы [3, 4, 12] предусматривают гидравлические системы в виде перфорированных труб, которые обеспечивают его удаление в течение 20...30 мин под действием гидростатического давления.

Другим способом удаления осадка является выпуск его через специальную дренажную систему, укладываемую по дну отстойника. Расстояние между осями труб назначают не более 2...3 м. В трубах для удаления осадка принимают отверстия диаметром не менее 25 мм, располагаемые с шагом 0,3...0,5 м в шахматном порядке вниз под углом 45° к оси трубы. В верхней части начала сбросной трубы предусматривают отверстие диаметром не менее 15 мм для удаления воздуха. Скорость движения пульпы в конце трубы принимают не менее 1 м/с, а в ее отверстиях – 1,5...2 м/с.

Из открытых горизонтальных отстойников осадок можно удалять специальными плавучими землесосными снарядами, серийно выпускаемыми промышленностью. При движении такого снаряда по коридору отстойника напорный шланг снаряда попеременно присоединяется к патрубкам трубчатой системы, по которой осадок под напором, развиваемым насосом землесосного снаряда, перекачивается за пределы очистной станции.

В качестве механизированных средств удаления осадка без отключения отстойника можно применять скребковые транспортеры, которые сгребают осадок в приямок, откуда этот осадок откачивается эжектором или насосом.

Горизонтальные отстойники с рассредоточенным по площади сбором осветленной воды оснащены системой горизонтально расположенных желобов с затопленными отверстиями или треугольными водосливами либо перфорированных труб, расположенных на участке $2/3$ длины отстойника, считая от задней торцевой стенки. Децентрализованный сбор осветленной воды способствует увеличению коэффициента объемного использования сооружения. Расстояние в осях между водосборными трубами или желобами назначают до 3 м. При оборудовании отстойника тонкослойными модулями подобную систему сбора воды устраивают на всю его длину. Излив воды из водосборных устройств отстойника в торцевой карман (канал) должен происходить без его подтопления.

Высоту отстойников следует определять как сумму высот зоны осаждения и зоны накопления осадка с учетом превышения строительной высоты над расчетным уровнем воды не менее 0,3 м.

В отстойных сооружениях тонкослойного осветления осаждение взвеси протекает в малом слое воды, образуемом устройством наклонных элементов, обеспечивающих быстрое выделение взвеси и ее сползание по наклонной поверхности элементов в зону хлопьеобразования и осадкоуплотнения. Уменьшение высоты потока снижает удельную нагрузку на площадь отстаивания, что влечет сокращение количества движения жидкости, переносимой частицами, повышает стабильность его гидродинамической структуры. Стабилизация течения возможна в случае если энергия движения частиц воды будет преобладать над силой тяжести. Режим течения в отстойнике должен быть ламинарным и число Рейнольдса не должно превышать $Re = vH/\nu < 700$.

Тонкослойные элементы или блоки (рис. 5.8) могут выполняться из мягких или полужестких полимерных пленок, соединенных в сотовую конструкцию, или из жестких листовых материалов в виде отдельных полок. Размеры в плане отдельных блоков для удобства их монтажа и эксплуатации следует принимать в пределах $1 \times 1 \dots 1,5 \times 1,5$ м с учетом фактических размеров сооружения. Высоту поперечного сечения тонкослойного ячеистого элемента рекомендуется принимать в пределах 0,03...0,05 м. Ячейки могут быть приняты любой формы, исключая накопление в них осадка. Угол наклона элементов необходимо принимать в пределах $50 \dots 60^\circ$ (меньшее значение для более мутных вод, большее – для маломутных). Длину тонкослойных элементов определяют специальным расчетом в пределах 0,6...1,5 м. Установку отдельных блоков следует осуществлять с помощью специальных несущих конструкций, расположенных под или над ними, а также путем их крепления к элементам сборной системы (желобам, лоткам, трубам) и промежуточным стенкам сооружения. При этом могут быть использованы стальные или полимерные трубы, арматурная проволока, профилированные конструкции. При монтаже блоков необходимо обеспечить герметичность мест их примыкания к внутренним стенкам сооружения, например, с помощью резиновых прокладок.

Сбор осветленной воды из тонкослойных сооружений следует осуществлять желобами с затопленными отверстиями или открытыми водосливами, например, треугольного профиля, расположенными на расстоянии не более 2...3 м друг от друга.

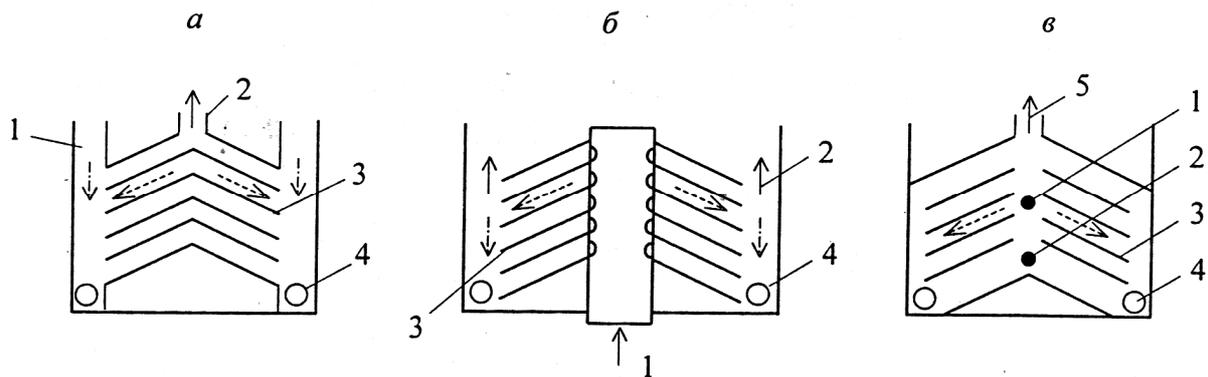


Рис. 5.8. Схемы тонкослойных отстойников: *а* – противоточная; *б* – прямоточная; *в* – перекрестная; 1 – подача исходной воды; 2 – отвод осветленной воды; 3 – тонкослойные модули; 4 – трубопровод удаления осадка; 5 – отвод нефтепродуктов во взвеси с $\rho < 1 \text{ т/м}^3$

Расчет тонкослойного блока сводится к определению его геометрических размеров (длины, ширины, высоты канала) при заданной нагрузке, начальной и конечной концентрации взвеси и требуемой степени очистки. Гидравлическая нагрузка, характеризующаяся удельным расходом, измеряемым в $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$, или скоростью потока в тонкослойных модулях, измеряемой в м/ч, устанавливается в результате технологических экспериментов. На практике значения последней принимаются в пределах от 0,6...1,5 м/ч (для маломутных цветных вод) до 1,5...2,5 м/ч (для малочетных мутных вод).

На рис. 5.9 и 5.10 приведены примеры конструкций тонкослойных отстойников напорного (установка типа «Струя») и безнапорного типа.

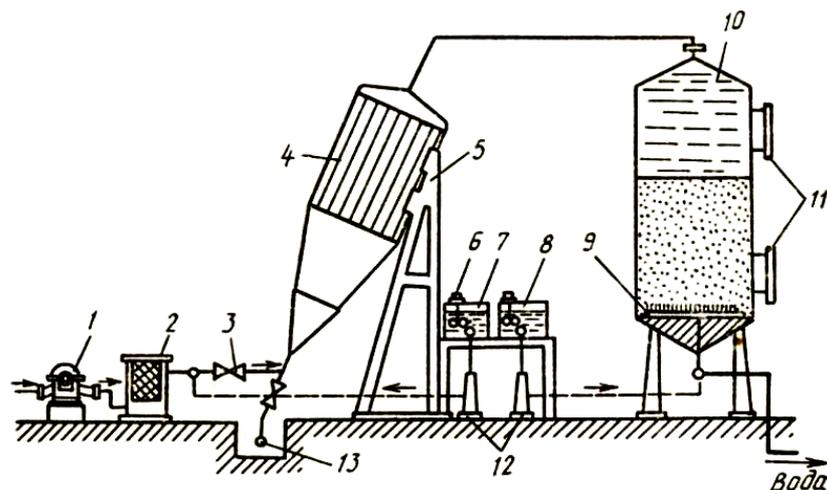


Рис. 5.9. Водоочистная установка типа «Струя» с напорным тонкослойным отстойником: 1 – насос; 2 – сетчатый фильтр; 3 – задвижка; 4 – наклонный тонкослойный отстойник; 5 – опора отстойника; 6 – мешалка; 7 – бак для раствора коагулянта; 8 – бак для обеззараживающего раствора; 9 – распределительная система фильтра; 10 – песчаный фильтр; 11 – люки фильтра; 13 – сток осадка

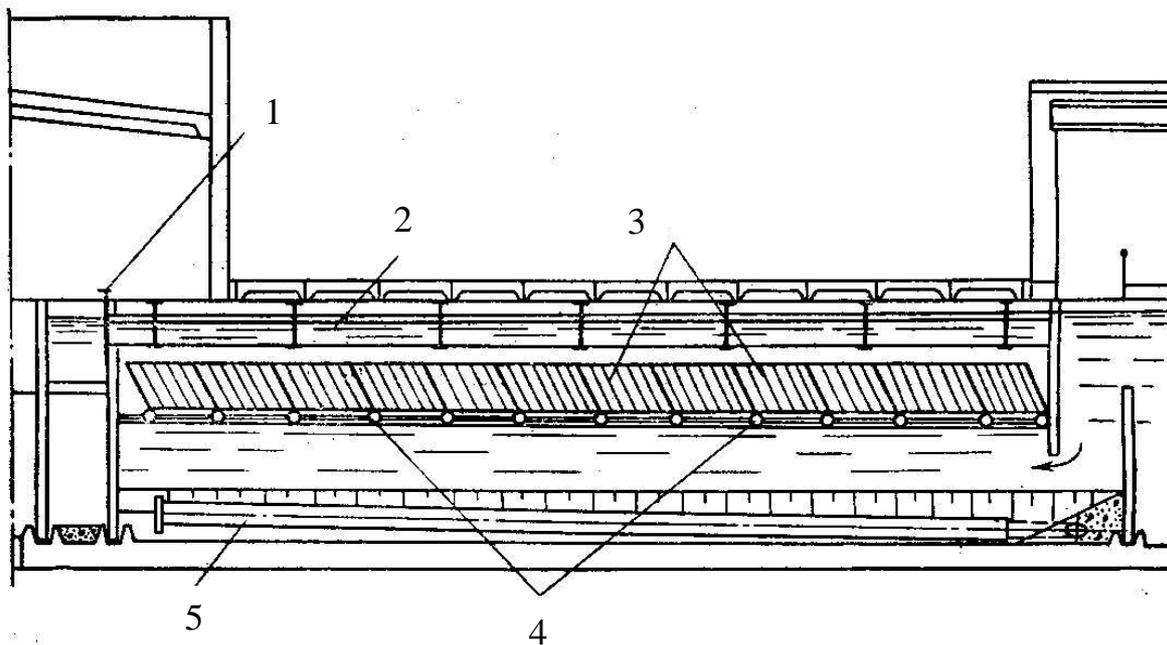


Рис. 5.10. Горизонтальный отстойник с тонкослойным модулем: 1 – шибер; 2 – желоб для рассредоточенного сбора осветленной воды; 3 – тонкослойные модули; 4 – опорные конструкции; 5 – короб для удаления осадка

ТЕМА 6. ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ ВО ВЗВЕШЕННОМ СЛОЕ

Осветлители со взвешенным осадком используются для удаления из воды коллоидных и взвешенных примесей [1 – 4, 7, 11].

6.1. Принцип работы осветлителя со взвешенным осадком

В основу работы осветлителей положен принцип контактной коагуляции в слое взвешенного осадка (рис. 6.1). При поддержании определенной скорости восходящего потока воды (0,5...1,2 мм/с) формируется слой взвешенного осадка из скоагулированной взвеси в виде мелких хлопьев. Этот слой играет роль фильтра, способствуя лучшему осветлению воды и обесцвечиванию за счет более полного использования адсорбционной емкости хлопьев.

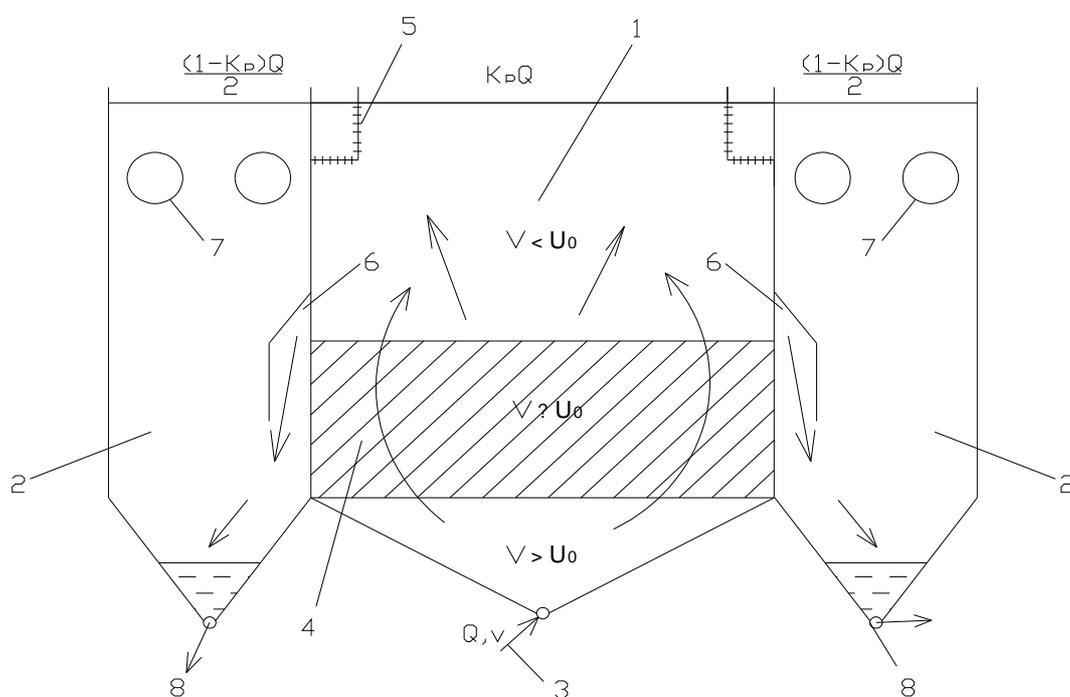


Рис. 6.1. Принцип работы осветлителя со взвешенным осадком: 1 – камера осветления воды; 2 – камеры сбора и уплотнения осадка; 3 – подвод скоагулированной воды после смешительного устройства; 4 – взвешенный слой; 5 – сборные дырчатые лотки; 6 – осадкоприемные окна; 7 – дырчатые трубы для удаления осветленной воды в камерах осадкоуплотнения; 8 – трубопровод удаления осадка

Вода подается в нижнюю часть камеры осветления, расход воды определяется по основному уравнению гидродинамики потока: $Q = v \cdot F$. Скорость поступающей воды больше, чем гидравлическая крупность скоагулированных частиц, т.е. $v > u_0$, и последние увлекаются потоком воды в камеру осветления.

При движении воды вверх ее скорость снижается, так как площадь камеры F увеличивается. Уменьшение величины v будет происходить до тех пор, пока наклонные стенки не станут вертикальными. При этом гидравлическая крупность частиц возрастает за счет контактной коагуляции и устанавливается соотношение $v \approx u_0$. В таких условиях частички находятся во взвешенном состоянии и происходит формирование взвешенного слоя (4), который и создает наилучшие условия для задержания скоагулированной взвеси, т.е. процесс осветления воды происходит намного эффективнее, чем в обычных отстойных сооружениях.

В камере осветления воды объем взвешенного слоя постоянно растет и его избыток при помощи окон (6) перепускается в камеры (2). Количество воды, отводимой в эти камеры, принимается $(1 - K_p)Q$, где K_p – коэффициент распределения воды. Тогда выше границы взвешенного слоя, на уровне сборных лотков, расход воды будет $K_p Q < Q$. Т.е. выше границы взвешенного слоя расход воды уменьшается, а т.к. площадь камеры осветления здесь остается постоянной, то происходит дальнейшее уменьшение скорости воды до соотношения $v < u_0$. Частички будут возвращаться во взвешенный слой и не увлекаться с потоком осветленной воды.

Осветленная вода поступает в дырчатые лотки (5) и отводится из камеры осветления. В камерах осадкоуплотнения происходит выпадение избытка взвешенного слоя в осадок. Он удаляется периодически через трубы (8), а осветленная вода через дырчатые трубы (7) также отводится из камеры (2) и в дальнейшем соединяется с общим объемом осветленной воды.

Таким образом, осветлители со взвешенным осадком являются более эффективными сооружениями для осветления воды по сравнению с отстойными сооружениями, но более сложными по конструкции и условиям эксплуатации, особенно по поддержанию условий формирования и состояния взвешенного слоя.

6.2. Конструкции и типы осветлителей со взвешенным осадком

Осветлители со слоем взвешенного осадка классифицируют следующим образом: с предварительным образованием хлопьев в камерах 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 и выносным. Они могут быть в плане: прямоугольные, квадратные или круглые.

Осветлитель со взвешенным осадком коридорного типа и вертикальным осадкоуплотнителем (рис. 6.2) наиболее часто встречается при обработке воды для хозяйственно-питьевых целей на водоочистных станциях с производительностью не менее $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$, с содержанием взвешенных веществ до 2500 мг/л (минимальная мутность исходной воды должна быть не менее 50 мг/л) и любой цветностью.

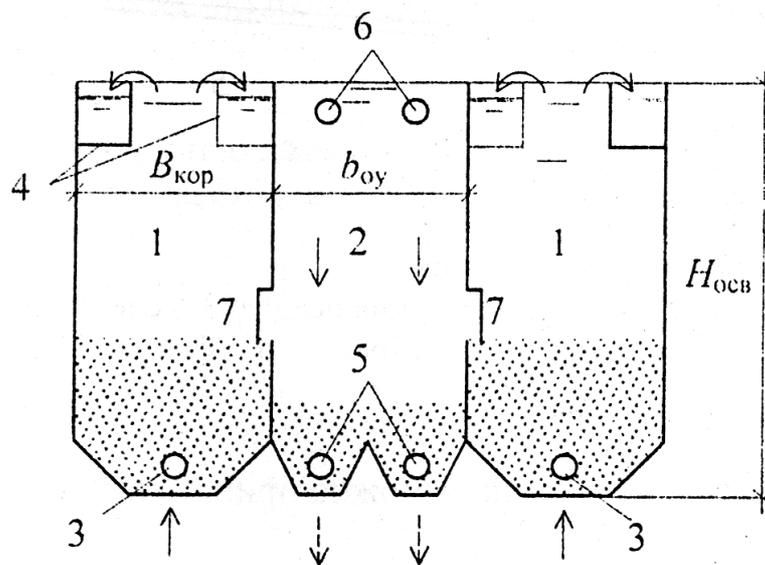


Рис. 6.2. Коридорный осветлитель со взвешенным осадком с вертикальным осадкоуплотнителем: 1 – коридоры-осветлители; 2 – осадкоуплотнитель; 3 – подача исходной воды; 4 – сборные карманы для отвода осветленной воды; 5 – отвод осадка из осадкоуплотнителя; 6 – отвод осветленной воды из осадкоуплотнителя; 7 – осадкоприемные окна с козырьками

Прямоугольная форма осветлителя обуславливает простоту его компоновки в пределах здания водоочистной станции. При использовании коридорных осветлителей на маломутной и цветной воде процесс хлопьеобразования идет медленно. Для его интенсификации целесообразно произвести пригрузку водораспределительных труб гравием или щебнем. С той же целью в осветлители вносят специальную контактную массу из зерен кварцевого песка или дробленого керамзита крупностью $0,1 \dots 0,15 \text{ мм}$ из расчета $10 \dots 12 \text{ кг}$ на 1 м^2 площади взвешенного слоя. Это позволяет увеличить их производительность на $15 \dots 20 \%$ и сократить при этом расход коагулянта на $15 \dots 20 \%$.

Трубопровод, распределяющий воду в коридорах освещения, устраивают дырчатым и с уменьшением по длине диаметром. Отверстия в трубе принимаются диаметром 20...25 мм и располагаются под углом 45° к ее оси на расстоянии не более 0,5 м друг от друга. Скорость движения воды в отверстиях составляет 1,5...2,0 м/с. Расстояние между трубами принимают не более 3 м. Сбор осветленной воды в коридорах освещения осуществляется водосборными желобами с затопленными отверстиями.

Осадкоприемные окна представляют собой прямоугольные отверстия, расположенные вдоль всей длины стенок коридоров освещения в один ряд, т.е. высота их расположения диктуется отметкой верхней границы взвешенного слоя. Общая площадь окон в осветлителе составит

$$\sum F_{ок} = (1 - Q) / v_{ок}, \text{ м}^2,$$

где $v_{ок}$ – скорость контактной массы в окнах, принимается равным 0,6 м/с.

Количество окон назначают конструктивно, исходя из размера длины коридора и принимая отношение высоты к ширине окна 1:2.

Общая площадь осветлителей определится:

$$\sum F_{осв.} = \sum F_{з.о.} + \sum F_{о.у.}, \text{ м}^2;$$

$$\sum F_{з.о.} = \frac{K_p \cdot q}{3,6 \cdot v_{восх.}}, \text{ м}^2;$$

$$\sum F_{о.у.} = \frac{(1 - K_p) \cdot q}{3,6 \cdot \alpha \cdot v_{восх.}}, \text{ м}^2,$$

где $\sum F_{з.о.}$ – общая площадь зоны освещения воды; $\sum F_{о.у.}$ – общая площадь зоны осадкоуплотнения; q – расход воды, м³/ч; $v_{восх.}$ – восходящая скорость воды на уровне сборных лотков, мм/сек; α – коэффициент стеснения потока в осадкоуплотнителе, равный 0,9.

Общая площадь осветлителей определяется для зимнего и летнего периодов, и выбирается наибольшее значение. Даже если наибольшая площадь получилась в зимний период (минимальные расходы воды), то расчет всех элементов осветлителя необходимо производить с учетом расчетных максимальных расходов. Площадь одного осветлителя рекомендуется не более 120...150 м², а их число принимается не менее трех.

Основными характеристиками работы осветлителей со взвешенным осадком коридорного типа являются коэффициент распределения K_p (прини-

мается 0,7...0,8) и скорость воды на уровне сборных лотков $v_{\text{оск}}$ (5...30 мм/с). На состояние взвешенного слоя и на процессы осветления, происходящие в этом слое, влияют колебания расхода воды ($\pm 10\%$ в час) и ее температуры ($\pm 1^\circ\text{C}$ в час).

Общая высота смесителя составляет

$$H = h_g + h_n + h_z, \text{ м,}$$

где h_g – высота зоны взвешенного осадка выше перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные (до нижней кромки осадкоприемных окон), принимается 1,0...1,5 м; h_n – высота пирамидальной части осветлителя, определяется расчетом, м; h_z – высота зоны осветления (от нижней кромки осадкоприемных окон до поверхности воды в осветлителе), принимается 1,5...2,0 м.

Полная высота слоя взвешенного осадка принимается 2,0...2,5 м.

В системах производственного водоснабжения получили распространение напорные осветлители с выносным осадкоуплотнителем, которые представляют собой отдельные металлические резервуары вертикального типа, характеризуются компактностью и возможностью автоматизации их работы (рис. 6.3).

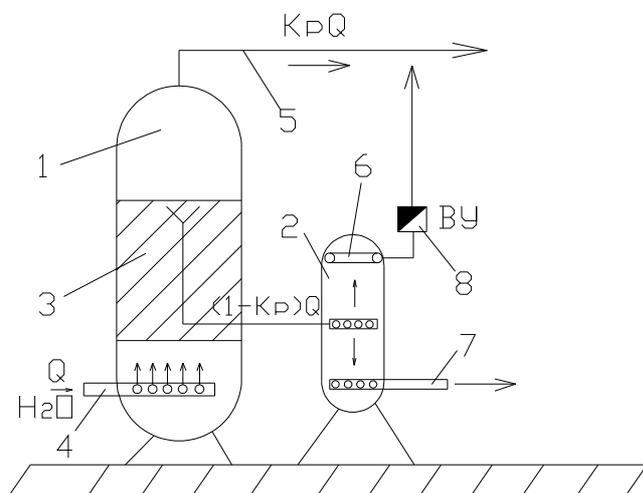


Рис. 6.3. Схема работы напорного осветлителя с выносным осадкоуплотнителем: 1 – камера осветления воды; 2 – осадкоуплотнитель; 3 – взвешенный слой; 4 – подача и распределение исходной (скоагулированной) воды; 5 – отвод осветленной воды из камеры осветления; 6 – отвод осветленной воды из камеры осадкоуплотнения; 7 – отвод осадка из камеры осадкоуплотнения; 8 – водомерное устройство

Для обработки воды при ее умягчении и обескремнивании часто применяют осветлители с поддонным осадкоуплотнителем (типы ВНИИГС-2 или ЦНИИ-3 конструкции Е.Ф. Кургаева).

Схема работы такого типа осветлителя, квадратного в плане, приведена на рис. 6.4.

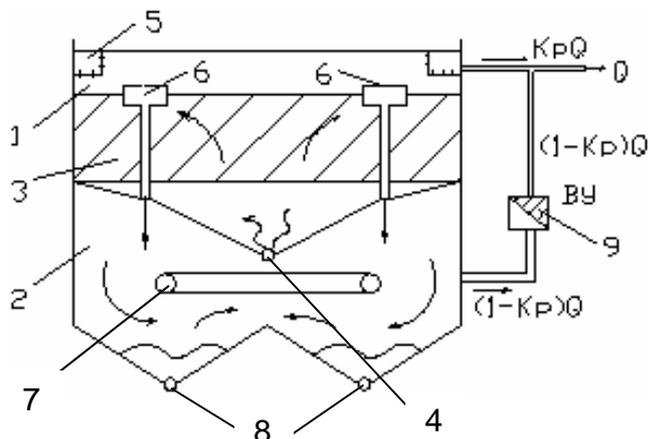


Рис. 6.4. Схема работы осветлителя с поддонным осадкоуплотнителем: 1 – камера осветления воды; 2 – камера осадкоуплотнения; 3 – взвешенный слой; 4 – подача и распределение исходной (скоагулированной) воды; 5 – сборные лотки для отвода осветленной воды из камеры осветления; 6 – перепускные окна с отводными трубами; 7 – отвод осветленной воды из камеры осадкоуплотнения; 8 – отвод осадка из камеры осадкоуплотнения; 9 – водомерное устройство

В осветлителе-пульсаторе (рис. 6.5) в обычном состоянии уровень воды в центральной трубе находится в сечении *b-b*, а верхняя граница взвешенного слоя – в сечении *c-c*. Вода поступает по трубопроводу (9), включается вакуум-насос, который создает вакуум в центральной трубе, вследствие чего вода не поступает вниз, а накапливается в этой трубе. Подъем воды происходит до сечения *a-a*, затем срабатывает клапан со сбросом вакуума в этой трубе. Вода резко устремляется вниз и увеличивает объем взвешенного слоя за счет его поднятия до сечения *d-d*, одновременно вытесняя осветленную воду в лотки (6). После этого вакуум-насос опять включается в работу, при этом взвешенный слой постепенно оседает до первоначальной границы *c-c*, создавая наилучшие условия для контактной коагуляции и осветления воды. Таким образом, взвешенный слой постоянно как бы «пульсирует». Отвод избыточного взвешенного слоя производится периодически по трубам, расположенным в толще фильтрующего слоя.

За рубежом (США, ФРГ) осветлители со взвешенным осадком применяются преимущественно с камерами хлопьеобразования, в то время как отечественные конструкции таких камер не предусматривают. Конструкция осветлителя с камерой хлопьеобразования без взвешенной контактной массы получила название пресипитатор (рис. 6.6) [3, 4], а с взвешенным слоем – акселатор.

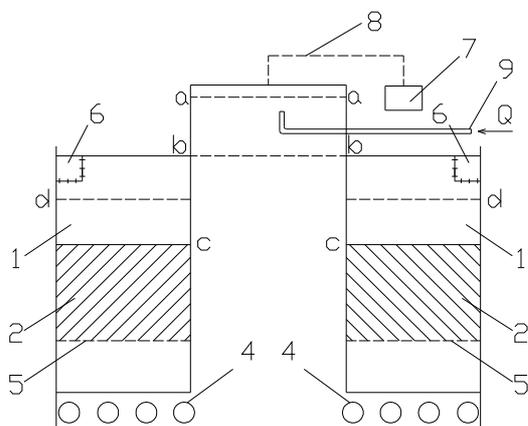


Рис. 6.5. Схема работы осветлителя-пульсатора (камеры осветления воды): 1 – камера осветления воды; 2 – взвешенный слой; 3 – центральная труба (колокол); 4 – трубчатая система распределения исходной воды; 5 – поддерживающая сетка для формирования взвешенного слоя; 6 – сборные лотки для отвода осветленной воды; 7 – вакуум-насос; 8 – воздушная трубка; 9 – Трубопровод подачи исходной (скоагулированной) воды

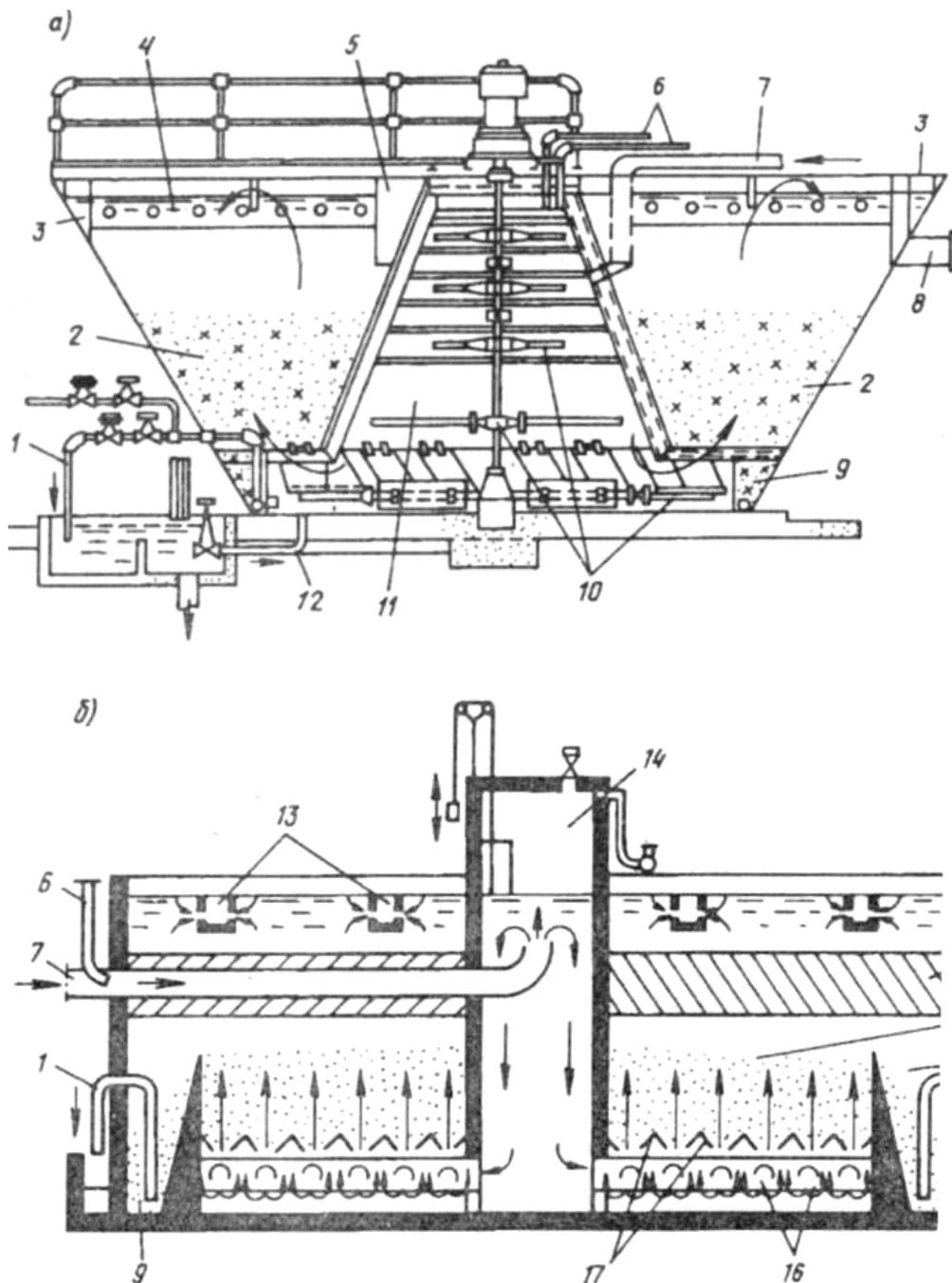


Рис. 6.6. Пресипитатор конструкции Ч. Сполдинга (а) и суперпульсатор (б): 1 – трубопровод отвода осадка; 2 – слой взвешенного осадка; 3, 4 – кольцевой и радиальный водосборный лотки; 5 – кольцевой воздухоотделитель; 6 – подача реагентов; 7, 8 – подача исходной и отвод осветленной воды; 9 – гравитационный осадкоуплотнитель; 10 – мешалки; 11 – камера хлопьеобразования (флокулятор); 12 – трубопровод опорожнения осветлителя; 13 – сборные лотки; 14 – вакуумная камера; 15 – тонкослойные элементы; 16 – перфорированные распределительные трубы; 17 – гасители напора

ТЕМА 7. ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ

Фильтрованием называется процесс прохождения осветляемой воды через слой пористого материала. Фильтрация, так же как и отстаивание, применяют для осветления воды, т. е. для задержания находящихся в воде взвешенных веществ. Фильтрующий материал должен представлять собой пористую среду с весьма малыми порами [3, 4, 7, 11, 12, 22, 23, 37, 40].

В большинстве случаев фильтрация применяют в сочетании с другими методами очистки воды. Так, на городских водоочистных станциях фильтры обычно используют после отстойников или осветлителей. Фильтры применяют также для осветления воды при ее реагентном умягчении и обезжелезивании. В некоторых случаях фильтры используют для осветления природной некоагулированной воды (медленные фильтры), а также коагулированной воды без предварительного отстаивания.

7.1. Общие сведения о фильтрации воды

По характеру ведения процесса различают поверхностное и объемное фильтрация.

В первом случае (пленочное фильтрация) примеси задерживаются на поверхности какого-то материала, а сам процесс описывается формулой Хазена

$$\delta = 0,01(d_{эф}\nu)^{0,5},$$

где δ – диаметр наименьших задерживаемых частиц, мм; $d_{эф}$ – эффективный диаметр зерен загрузки мм; ν – скорость фильтрации (до 10 м/ч);

Поверхностное фильтрация подразделяется на макро- и микро-фильтрация (барабанные сетки и микрофильтры с задержанием взвешенных веществ до 150 мкм), ультрафильтрация (до 0,4 мкм) и гиперфильтрация (до 0,04 мкм). Поверхностное фильтрация происходит на медленных и намывных фильтрах.

Во втором случае взвешенные вещества задерживаются в объеме фильтрующего материала. Иногда происходит одновременное образование пленки примесей 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 проникания загрязнений в толщу загрузки тем больше, чем больше скорость фильтрации, крупнее зерна фильтрующего слоя и чем

меньше размеры частиц взвеси, извлекаемых из воды. Причем это процесс чисто механического извлечения из воды диспергированных примесей.

Объемное фильтрование осуществляется через зернистые и другие пористые материалы, например, в различных конструкциях скорых фильтров и контактных осветлителях. Фильтр представляет собой резервуар, в нижней части которого расположено дренажное или распределительное устройство той или иной конструкции, на которое укладывают слой поддерживающего материала (если это необходимо) и затем собственно фильтрующий материал.

По направлению фильтрования через зернистые материалы различают прямое и обратное фильтрование.

Пропускная способность фильтра определяется его скоростью, которая является основной характеристикой фильтрования. Под скоростью фильтрования следует понимать не скорость движения воды в порах, а скорость вертикального движения воды над фильтрующим слоем. Скорость фильтрования (м/ч) определяют по соотношению:

$$v = Q/\omega,$$

где Q – количество воды, проходящей через фильтр, м³/ч; ω – площадь фильтра, м².

В зависимости от численного значения величины v различают медленное и скорое фильтрование.

Медленное фильтрование (медленные и намывные фильтры, см. раздел 4) проводят со скоростью 0,1...0,2 м/ч, при этом на поверхности материала начинает выпадать слой осадка, состоящий из загрязнений, которые присутствуют в воде, и дальнейшее фильтрование уже происходит через этот слой примесей. К преимуществам относят то, что на фильтрование вода может подаваться без использования реагентов, достигается ее полное осветление и обесцвечивание с высокой степенью обеззараживания. Но требуется очень большая площадь фильтров, и для значительных расходов воды использование принципа медленного фильтрования становится экономически нецелесообразно.

Скорое фильтрование осуществляют при величине $v > 2,5$ м/ч (т.е. не менее чем в 10 раз больше медленного фильтрования). В этом случае фильтрующей пленки на поверхности практически не образуется, а загрязнения задерживаются в толще загрузки, но при определенных условиях. Так как при обычных значениях рН исходной воды поверхность зерен

фильтрующего материала и частицы примесей воды часто несут одинаковый (отрицательный) заряд, то взвесь в порах фильтрующего слоя практически не задерживается. Поэтому в основе скорого объемного фильтрования лежит предварительное коагулирование примесей воды с целью уменьшения и ликвидации их заряда, т.е. на фильтрование направляют воду, обработанную реагентами, в т.ч. обязательно коагулянтами, непосредственно из источника водоснабжения или прошедшую предварительное осветление.

Фильтры, работающие по принципу скорого фильтрования, подразделяются на скорые ($v \leq 15$ м/ч), скоростные ($v \leq 25$ м/ч), сверхскоростные ($v \leq 100$ м/ч) и высокопроизводительные ($v > 100$ м/ч).

Кроме скорости фильтрования, работа фильтра в заданном режиме фильтрования оценивается его продолжительностью защитного действия (T_z) и продолжительностью роста потерь напора в фильтре от минимальных до максимальных значений (T_n).

Величина T_z характеризует продолжительность работы фильтра, в течение которого обеспечивается требуемое качество фильтруемой воды (например, для воды хозяйственно-питьевого назначения: цветность – до 20°, мутность – до 1,5 мг/л, железо – до 0,3 мг/л и т.д.).

Задержание примесей при фильтровании воды сопровождается ростом потерь ее напора в фильтрующей пленке или загрузке. Для открытых фильтров максимальная величина роста потерь напора воды определяется ее высотой над фильтрующим материалом и обычно составляет 2 м вод. ст. Для напорных фильтров эта величина зависит от материала корпусов и принимается до 8...10 м вод. ст.

Для экономически целесообразного запроектированного фильтра величины T_z и T_n должны быть равны между собой. На практике при проектировании и расчете фильтров с песчаной загрузкой принимают соотношение $T_z > T_n$ в 1,2...1,3 раза. Т.е. при достижении в фильтре максимальных потерь напора воды должно обеспечиваться требуемое качество фильтрата (профильтрованной воды), и режим работы фильтра определяется величиной T_n . Но при некоторых типах загрузок (например, применение в определенных условиях различных видов углей, керамзита) может наблюдаться обратное соотношение, и тогда режим его работы и регенерации загрузки будет определяться продолжительностью защитного действия фильтра.

7.2. Фильтрующие материалы и поддерживающие слои

Фильтрующая загрузка является основным рабочим элементом фильтров. Типы и виды фильтрующих материалов многообразны: от сеток, которые принимаются при поверхностном фильтровании, каркасов, волокон, тканей, зернистых загрузок, вплоть до пористых – керамики, труб и полимерных мембран (ультра- и гипер-фильтрация).

Фильтрующие материалы для осветления воды должны обеспечивать требуемое качество фильтрата, обладать достаточной механической прочностью и химической стойкостью, не вступать в реакцию с растворенными веществами в воде, т.е. дестабилизировать ее, не содержать в своем составе различных вредных веществ, в том числе радиоактивных, ядовитых и т.д. Кроме этого, материалы, применяемые для фильтрования воды хозяйственно-питьевого назначения, должны удовлетворять необходимым санитарным требованиям и в обязательном порядке иметь разрешительные сертификаты и аттестаты Минздрава республики.

Зернистые материалы являются основными для загрузки медленных и скорых фильтров; это кварцевый песок, керамзит, антрацит, полимеры и местные материалы (горелые породы, доломитовый песок, керамическая крошка, доменные шлаки, дробленый мрамор и др.). Фильтрующий слой выполняют из отсортированной по требуемому фракционному составу зернистой загрузки, зерна которой должны иметь форму, близкую к шаровой с определенной однородностью. Правильный выбор параметров зернистой загрузки, а также ее стоимости имеет первостепенное значение для нормальной работы фильтров. Характеристика некоторых видов фильтрующих материалов представлена в табл. 7.1 [2, 3, 7, 11, 12, 39].

Таблица 7.1

Характеристика основных фильтрующих материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Пористость загрузки, %	Коэффициент формы зерен K_n
Кварцевый песок	2,6 – 2,65	40 – 42	1,17
Антрацит дробленый	1,6 – 1,7	45	1,15
Керамзит:			
дробленый	1,2 – 1,5	58 – 62	1,7 – 2,5
недробленый	1,7 – 1,8	45	1,3
Горелые породы	2,4 – 2,5	52	2
Шунгизит дробленый	1,5 – 1,8	56 – 58	1,7 – 2,0
Доменные шлаки	2,6	42 – 44	–
Шлаки медно-никелевого производства	3,2	48	–
Пенополистирол	2,6 – 2,81	48–56	1,41 – 1,73

Крупность и однородность фильтрующего материала определяют ситовым анализом на ряде калиброванных сит. Калибр сита определяется диаметром шара, равновеликого по объему наиболее крупным зернам фильтрующего материала, проходящим через данное сито. Имея набор калиброванных сит, производят рассев фильтрующего материала. Для этого из отобранной партии фильтрующего материала отбирают среднюю пробу в количестве до 300 г и высушивают ее до постоянной массы при температуре 105 °С. Из этого количества высушенного материала берут навеску и рассеивают на наборе калиброванных сит. Остатки на ситах взвешивают и строят график ситового анализа фильтрующего материала (рис. 7.1), по которому можно определить основные показатели фильтрующей загрузки (d_{\min} , d_{\max} , d_{10} , d_{50} , d_{60} , d_{80}).

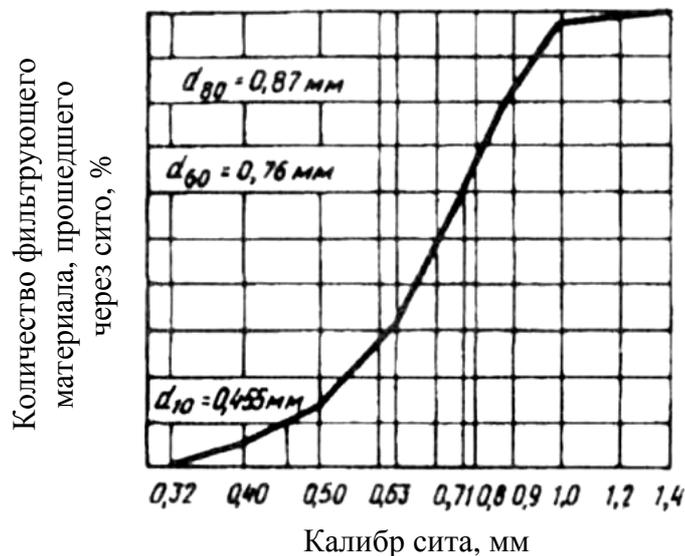


Рис. 7.1. График гранулометрического состава фильтрующего материала

На основании полученных результатов определяют эквивалентный диаметр зерен загрузки $d_э$ и коэффициент неоднородности K_H :

$$d_э = \frac{\sum P_i d_i}{\sum P_i}, \text{ мм,}$$

$$K_H = \frac{d_{80}}{d_{10}} \leq 2,2.$$

Анализ применяемых фильтрующих материалов показывает, что наиболее распространенной и относительно дешевой загрузкой фильтров является кварцевый песок, который при небольшом содержании примесей известняка отвечает всем перечисленным выше требованиям, предъявляе-

мым к фильтрующим материалам. Но, учитывая дефицит этого материала, в республиках СНГ, в т.ч. РБ (практически все песчаные карьеры находятся на территории РФ), предпринимаются многочисленные попытки использования местных материалов. Например, в Карелии (Россия) используется шунгизит, на Украине – бурые угли и мраморная крошка.

Другим фильтрующим материалом, традиционно применяемым для загрузки фильтров, является дробленый антрацит. Предъявляемым требованиям по механической прочности и химической стойкости удовлетворяет антрацит классов – антрацитовая плита (АП), кулак (АК) и семечко мытое (АС). Могут применяться активированные угли марок АГ, БАУ, ДАК и др.

К достоинствам этого материала относится развитая структура поверхности зерен, довольно низкая плотность, хорошие сорбирующие свойства, высокая фильтрующая способность, что выгодно отличает его от других материалов, в частности, кварцевого песка. Недостатком является высокая стоимость (особенно активированных углей), поэтому он обычно используется при соответствующем обосновании в качестве верхнего слоя загрузки двухслойных фильтров. Все более широкое применение находят угли для дезодорации воды и извлечения из нее органических примесей.

Керамзит представляет собой гранулированный пористый материал, получаемый обжигом глинистого сырья в специальных печах. Требуемые для загрузки водоочистных фильтров фракции керамзита могут быть получены либо отсевом из общей массы неоднородного керамзита, либо дроблением крупных гранул с последующим отсевом нужных фракций. Зерна дробленого керамзита также имеют развитую структурную поверхность и, соответственно, лучшие технологические свойства по сравнению с окатанными зернами недробленого керамзита и кварцевым песком. К сожалению, имеется печальный опыт, когда зерна керамзита в скорых фильтрах после непродолжительной эксплуатации превращаются в однородную массу и работа фильтров прекращается. Есть предположение, что качество керамзита, применяемого для загрузки фильтров, зависит от технологических процессов его изготовления (температура обжига, применение искусственных наполнителей и т.д.).

Горелые породы представляют собой метаморфизированные угленосные породы, подвергнутые обжигу при подземных пожарах. Необходимые фракции этого материала получают его дроблением с последующей сортировкой.

Вулканические шлаки – материалы, образовавшиеся в результате скопления газов в жидкой остывающей лаве. Вулканические шлаки залегают в

виде сыпучих материалов или в виде смеси щебня и песка. Свойства вулканических шлаков разных месторождений различаются в широких пределах.

Шунгизит получают путем обжига природного истощенного углеродного материала – шунгита, который по своим свойствам близок к дробленому керамзиту.

В качестве фильтрующих материалов применяют отходы промышленных производств: доменные шлаки и шлаки медно-никелевого производства. Достоинством шлаков является то, что они обычно имеют фракционный состав, близкий к тому, который требуется для загрузки водоочистных фильтров.

На фильтрах с плавающей загрузкой (ФПЗ) используют гранулированный полиэтилен и др. полимерные материалы. Пенополистирол получают вспучиванием за счет тепловой обработки исходного материала – полистирольного бисера, выпускаемого химической промышленностью. В результате вспенивания получают плавающие в воде зерна плотностью от 100 до 200 кг/м³.

Перечисленные материалы не исчерпывают всего многообразия местных фильтрующих материалов, предложенных в последние годы. Имеются данные о применении аглопорита, фарфоровой крошки, гранодиорита, габбродиабазы и т.д. Список этих материалов все время пополняется.

Используют и активные фильтрующие материалы, которые благодаря своим свойствам могут извлекать из воды не только взвешенные и коллоидные примеси, но и растворенные загрязнения. Так, для стабилизационной обработки воды применяют мраморную крошку и магномассу. Для удаления из воды растворенных соединений азота, фтора применяют природный ионообменный материал клиноптилолит. Но, учитывая, что этот материал доступен и дешев, он находит все большее применение в качестве инертной загрузки на скорых фильтрах.

В последнее время для обезжелезивания воды используют и некоторые модифицированные фильтрующие материалы разных зарубежных фирм: «мандикс» (США), «зеленый песок» (ФРГ), обработанный окислами марганца, и др.

В Республике Беларусь ведутся испытания гранитного песка карьера п. г. т. Микашевичи, который по всем показателям удовлетворяет требованиям, но в 1,3...1,5 раза тяжелее, чем песок, следовательно, затраты на его промывку намного выше. Применяют щебень, гравий, но фракция их намного больше по размеру, чем песка, что приводит к увеличению высоты самой загрузки, а также к необходимости водовоздушной промывки боль-

шой интенсивности. В последнее время в качестве загрузки фильтров обезжелезивания воды исследуется доломит.

Поддерживающие слои устраивают в фильтрах для загрузок с малыми размерами фракций, в результате чего эта загрузка может попасть в дренажную систему. Например, устройство поддерживающих слоев обязательно при наличии дырчатого дренажа. Они представляют собой отдельные слои различной фракции от 40...50 мм до 2...5 мм и назначаются по [3, 5].

7.3. Принцип работы скорого фильтра

Рассмотрим работу безнапорного (открытого) скорого фильтра по принципу прямого фильтрования воды. Фильтр представляет собой чаще всего ж/б резервуар – квадратный или прямоугольный (редко – круглый) в плане с боковым (рис. 7.2.) или центральным каналом.

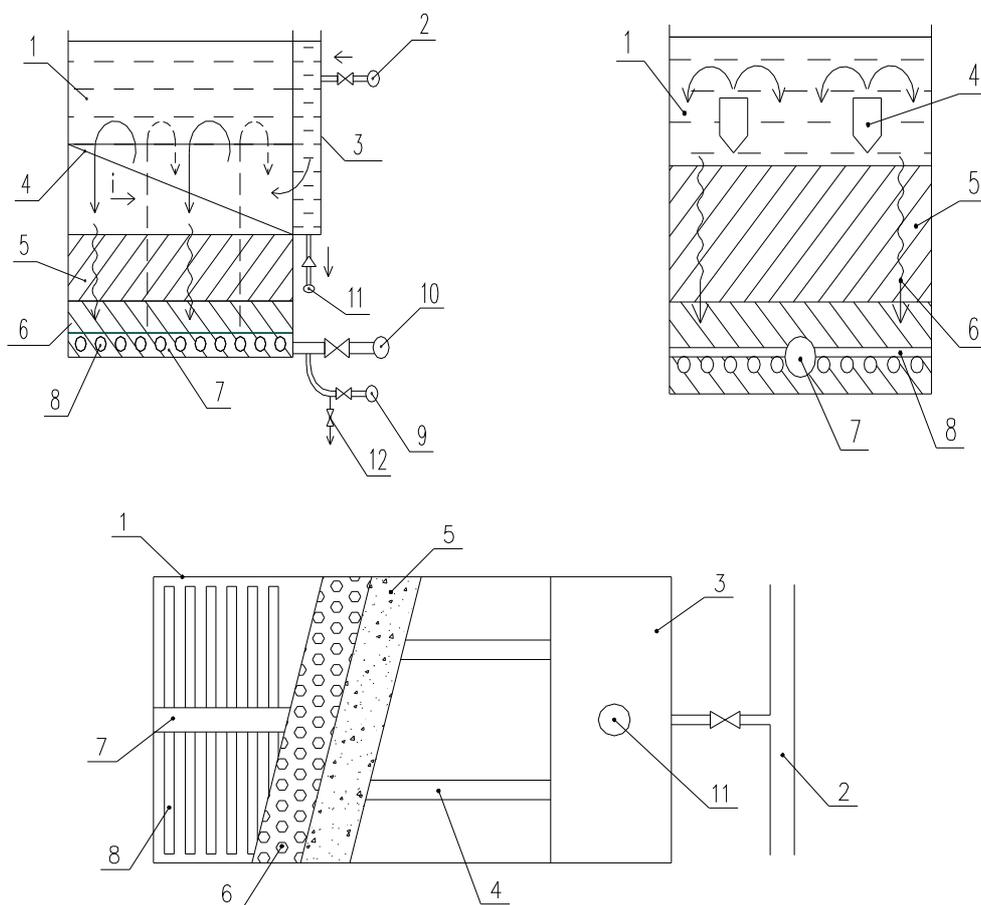


Рис. 7.2. Схема работы скорого фильтра: 1 – корпус фильтра; 2 – трубопровод исходной воды; 3 – боковой (может быть центральный) канал; 4 – желоба; 5 – фильтрующая зернистая загрузка; 6 – поддерживающие слои; 7 и 8 – дренажно-распределительная система (7 – центральная труба-коллектор; 8 – боковые трубчатые ответвления); 9 – трубопровод осветленной воды (фильтрата); 10 – трубопровод подачи промывной воды, 11 – трубопровод отвода промывной воды, 12 – трубопровод сброса первого фильтрата и опорожнения фильтров

В нижней части фильтра устраивается дренажно-распределительная система (на рисунке представлена дырчатая трубчатая с боковыми ответвлениями) с поддерживающим слоем (если это необходимо), на который засыпается фильтрующий материал (чаще всего загрузкой является песок). Над фильтрующей загрузкой находятся сборно-распределительные желоба. Фильтр оборудуется всеми необходимыми коммуникациями и запорными устройствами, пьезоэлементами (для определения потерь напора воды в фильтре), пробоотборниками, регулятором скорости фильтрования.

Порядок работы скорого фильтра следующий:

1 стадия – фильтроцикл, то есть процесс фильтрования воды, при котором качество фильтрата соответствует нормативным значениям; за этот период происходит рост потерь напора воды от минимальной до максимальной величины.

2 стадия – остановка фильтра при достижении максимальных потерь напора воды; задвижка на трубопроводе (2) закрывается, через трубопровод (9) происходит снижение (сработка) уровня воды в фильтре до границы 10...15 см выше фильтрационного слоя с отводом ее в резервуары чистой воды.

3 стадия – регенерация фильтрующей загрузки, то есть восстановление ее фильтрующих свойств. Для скорых фильтров регенерация зернистой загрузки заключается в ее отмывке от загрязнений обратным током воды (в отдельных случаях – совместно с воздухом).

На рисунке показан первый способ, когда вода с большим расходом подается в нижнюю часть фильтра по трубопроводу (10), распределяется по фильтру, взвешивает и взмучивает фильтрующую загрузку, увеличивая ее в объеме до 30...45 %, в результате этого производится отмывка загрузки от задерживающих загрязнений, далее промывная вода поступает в желоб (4), боковой канал (3) и удаляется по трубопроводу (11).

4 стадия – сброс первого фильтрата и включение фильтра в работу (стадия 1). Сброс первого фильтрата производится с целью удаления оставшихся в нижних слоях загрязнений после промывки загрузки. Открывается задвижка на трубопроводе (2), фильтр начинает работу в стадии фильтроцикла, но со сбросом воды через трубопровод (12) в промканализацию первых порций фильтрата в течение 1...2 мин, затем эта задвижка (12) закрывается, а задвижка (9) открывается, и фильтр включается в работу.

7.4. Теоретические основы фильтрования воды через зернистую загрузку скорых фильтров

При проектировании фильтров основными данными являются количество осветляемой воды, поступающей на фильтры, ее качество (в частности, содержание в ней взвешенных веществ, их физико-химические свойства) и требуемая степень осветления [2, 3, 7, 22, 23, 37].

Располагаемый напор, обуславливающий движение воды через открытые фильтры, обычно задается при расчете фильтров с учетом компоновки всей станции.

Основные положения теории фильтрования воды через зернистую загрузку (Д.М. Минц) заключаются в том, что при прямом фильтровании скоагулированная взвесь задерживается сначала в верхнем слое, где происходит процесс ее прилипания к зернам загрузки, т.е. адгезия.

При дальнейшем фильтровании происходит насыщение этого слоя загрязнениями, уменьшение межпорового пространства и, как следствие, увеличение местных скоростей движения воды. В результате этого наступает момент критического состояния насыщенности межпорового пространства, когда ранние закрепившиеся частицы начинают отрываться и переноситься в нижние слои, где в конечном итоге, в свою очередь, наступает момент насыщения, и т.д. Процесс отрыва загрязнения и перенос его в нижние слои называется суффозией. Таким образом, при фильтровании воды через зернистую загрузку происходят одновременно два противоположных процесса: адгезия и суффозия. Теоретически процесс фильтрования идет до тех пор, пока загрязнения не будут распространены послойно до нижней границы фильтрующего материала и не начнут выноситься из фильтра.

На фильтрование воды будут влиять следующие факторы: тип и гранулометрический состав зернистой загрузки, а также ее высота (L , м); скорость фильтрования воды (v , м/ч).

Процесс обработки воды фильтрованием через зернистую загрузку описывается двумя основными уравнениями, определяющими время защитного действия загрузки T_z и время, в течение которого достигается предельная потеря напора T_n .

Соотношения между продолжительностью защитного действия загрузки и времени, в течение которого достигается предельная потеря напора, могут быть различные. Когда $T_z > T_n$, фильтр выключают на промывку в связи с тем, что дальнейший прирост потери напора невозможен, так как

существующий напор, обусловленный расположением сооружений, расходуется на преодоление сопротивления загрузки. Когда $T_3 < T_n$, фильтр выключают на промывку в связи с начинающимся ухудшением качества фильтрата, а когда $T_3 = T_n$, то моменты достижения предельной потери напора и начала ухудшения качества фильтрата совпадают. С технико-экономической точки зрения наилучшим соотношением является $T_3 = T_n$. Так, условие $T_3 > T_n$ означает, что задерживающая способность загрузки используется не полностью, так как фильтр выключают на промывку (при предельной потере напора), хотя он мог бы еще в течение некоторого времени обеспечивать фильтрат требуемого качества. При $T_3 < T_n$ не полностью используется располагаемый напор, так как фильтр выключают на промывку (вследствие ухудшения качества фильтрата) в момент, когда потеря напора в загрузке не достигла своего максимума.

Путем изменения толщины слоя или эквивалентного диаметра зерен загрузки при одновременном увеличении скорости фильтрования всегда можно уменьшить T_3 , если $T_3 > T_n$, или T_n , – если $T_n < T_3$, и добиться, таким образом, равенства $T_3 = T_n$, при котором обеспечивается максимальная производительность фильтровального аппарата. Тем не менее, с точки зрения санитарной надежности целесообразно принимать значение $T_3 / T_n > 1$, так как при этом в течение всего фильтроцикла гарантируется высокое качество фильтрата, повышается степень санитарной надежности сооружения. Чем больше отношение T_3 / T_n , тем выше степень санитарной надежности фильтров, но тем они дороже в строительстве и эксплуатации, так как с увеличением этого отношения растет неиспользуемый скрытый резерв производительности фильтров. Поэтому основная идея расчета фильтрующих загрузок состоит в том, что исходят из определенного, заранее заданного отношения продолжительности защитного действия загрузки к времени, в течение которого достигается потеря напора ($T_3 / T_n = 1,2 \dots 1,3$), обеспечивающего вместе с тем достаточную санитарную надежность и экономичность работы фильтров. Режим работы фильтровального аппарата, при котором обеспечивается указанное соотношение, может быть назван оптимальным.

Величины T_3 и T_n (в часах или сутках) зависят от вышеприведенных факторов, и чем больше концентрация загрязнений или выше скорость фильтрования, тем они меньше; при увеличении высоты загрузки L величина T_3 увеличивается.

Если рассмотреть частичку примеси массой P в момент ее отрыва в межпоровом пространстве фильтрующей загрузки, то баланс сил прилипания, который характеризуется силой адгезии $F_{адз}$ и отрыва $F_{отр}$, будет определяться уравнением $F_{отр} \geq \mu(F_{адз} - P)$. На основании этого уравнения и многочисленных опытных данных были получены полуэкспериментальные зависимости для определения величин T_3 и T_n :

$$T_3 = \frac{b}{a} \frac{1}{\kappa} \left(L - \frac{x_0}{b} \right), \text{ час};$$

$$T_n = \frac{b}{a} \left(\frac{H_{\max} - h_p - h_0}{h_0 \cdot f(h_i)} \right) L, \text{ час},$$

где a и b – параметры фильтрования, зависящие от исходной концентрации загрязнений, типа загрузки и скорости фильтрования; κ и x_0 – коэффициенты, зависящие от типа загрузки, толщины, скорости фильтрования и состава загрязнений; $f(h_i) = f(A)$ – функция прироста потерь напора, которая при прочих равных условиях, как и коэффициенты a и b , зависит от скорости фильтрования, состава фильтрующей загрузки и исходной концентрации загрязнений; H_{\max} – предельные потери напора, м; h_p – потери напора в регуляторе скорости фильтрования, м; h_0 – потери напора в чистом фильтре, м; L – толщина фильтрующей загрузки, м.

Данные формулы позволяют на основании пробного фильтрования экспериментально определить величины T_3 и T_n . При проектировании и расчете фильтров должны быть определены толщина фильтрующего слоя (при определенном фильтрующем материале), скорость фильтрования и оптимальная длительность периода работы фильтра между промывками. Правильный выбор этих параметров, находящихся во взаимосвязи, имеет большое экономическое значение, так как он должен обеспечить оптимальное соотношение затрат на строительство и эксплуатацию фильтров и водоочистной станции в целом.

7.5. Дренажно-распределительные системы скорых фильтров

Дренажно-распределительная система (ДРС) является главным элементом фильтра, от которого зависит состояние фильтрующей загрузки (регенерационный режим) и, следовательно, нормальная работа. Расчет ДРС производят на расход промывной воды, который во много раз больше расхода воды, поступающей на фильтрование. Отсюда и основное назначение ДРС – равномерное распределение воды в стадии

промывки фильтрующей загрузки. Очень важно, чтобы эта промывка осуществлялась с надлежащей интенсивностью и степенью расширения загрузки, при которой создаются оптимальные условия отмывки ее от загрязнений.

По принципу действия в период промывки фильтра дренажно-распределительные системы могут быть малого и большого сопротивления. Промывку фильтра можно производить с расчетным расходом воды и равномерным ее распределением по площади, но с различными скоростями выхода воды из отверстий или щелей ДРС. При небольшой скорости имеем малое значение скоростного напора $v^2/2g$ и вследствие этого вялотекущий процесс промывки, что не обеспечивает полноту отмывки загрузки от загрязнений, и наоборот. Поэтому в скорых фильтрах рекомендовано применять дренажно-распределительные системы большого сопротивления. Расчет таких систем производят по указаниям [1, 3, 5, 24].

В настоящее время применяют следующие типы дренажно-распределительных систем: трубчатые (дырчатые или щелевые) и колпачковые щелевые. Трубчатые дырчатые системы обязательно устраивают с поддерживающими слоями, а системы из щелевых труб или щелевого ложного дна – без гравийных поддерживающих слоев.

Трубчатые распределительные системы (рис. 7.3) представляют собой чугунные, асбестоцементные, пластмассовые или стальные трубы с отверстиями диаметром 10...12 мм, укладываемые параллельно на расстоянии 0,25...0,35 м друг от друга в нижних слоях гравия и присоединяемые к коллектору (трубе большего диаметра или каналу, расположенному в середине днища фильтра параллельно его длинной стороне). От низа ответвлений до дна фильтра должно быть 8...12 см. Отверстия в трубах располагают в шахматном порядке на расстоянии 15...20 см в нижней части под углом 45° к вертикали. Общая площадь отверстий должна составлять 0,25...0,5 % площади фильтра.

Щелевые трубчатые дренажно-распределительные устройства представляют собой систему труб из нержавеющей стали либо полиэтилена серии С или Т. Ширина щелей должна быть на 0,1 мм меньше размера самой мелкой фракции загрузки, обычно составляет 0,5 мм. Щели располагают равномерно поперек оси и по периметру трубы не менее чем в два ряда на расстоянии не менее 20 мм друг от друга. Общая площадь щелей – 1,5...2 % площади фильтра.

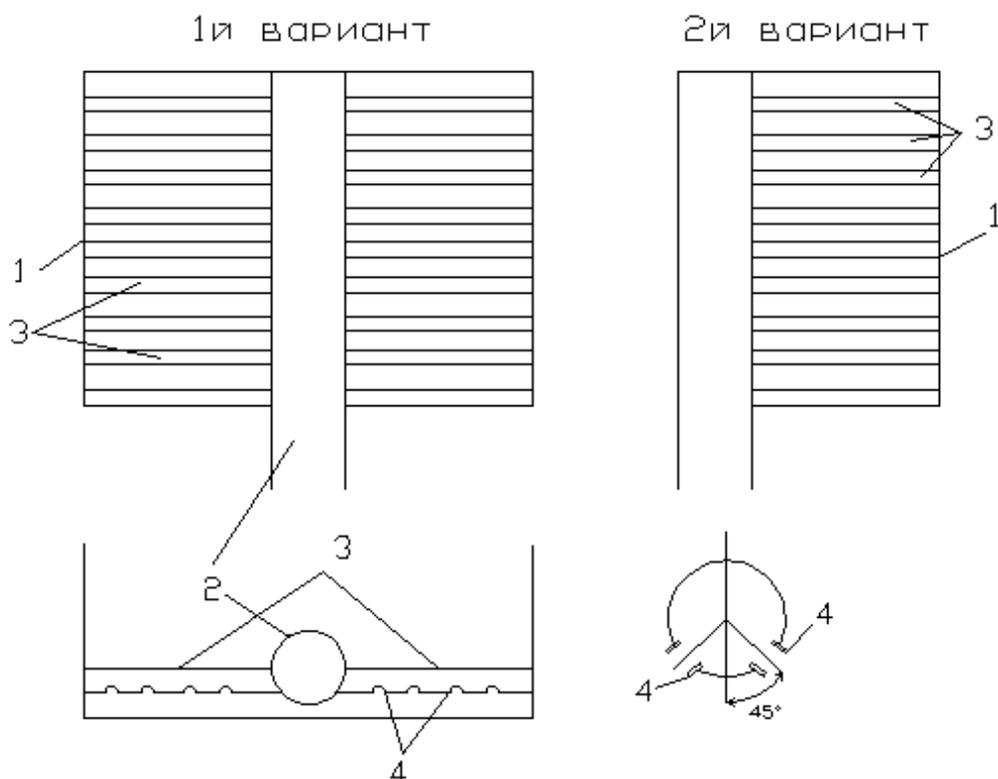


Рис. 7.3. Трубчатая дырчатая дренажно-распределительная система скорого фильтра: 1 вариант – расположение боковых ответвлений в две стороны от коллектора, который устраивается в средней части фильтра; 2 вариант – расположение боковых ответвлений в одну сторону от коллектора, который устраивается в за пределами фильтра около одной из сего сторон; 1 – корпус фильтра; 2 – коллектор; 3 – боковые ответвления; 4 – отверстия в боковых ответвлениях

Колпачковая дренажно-распределительная система состоит из колпачков (рис. 7.4), которые располагаются на распределительных трубах или устраиваемом плоском дырчатом дне (ложное дно) из расчета 35...50 колпачков на 1 м^2 площади фильтра без поддерживающих слоев. Ширина щели составляет 0,5...0,6 мм, длина – 25 мм. 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. Первые два типа колпачков могут применяться с дополнительными трубками, внизу которых имеется щель длиной до 100 мм и шириной 0,8 мм для водовоздушной промывки.

Применение колпачковых дренажей в условиях водовоздушной промывки позволяет уменьшить расход промывной воды, снизить строительную стоимость сооружений за счет уменьшения диаметров трубопроводов и объема резервуаров для хранения промывной воды. Эффект отмывки загрязнений из зернистой загрузки фильтра при водовоздушной промывке намного выше, чем при водяной, поэтому некоторое увеличение высоты

фильтра с колпачковым дренажем и поддонным пространством по сравнению с фильтрами, не имеющими горизонтальной компенсации, полностью оправдывается большей эффективностью эксплуатации.

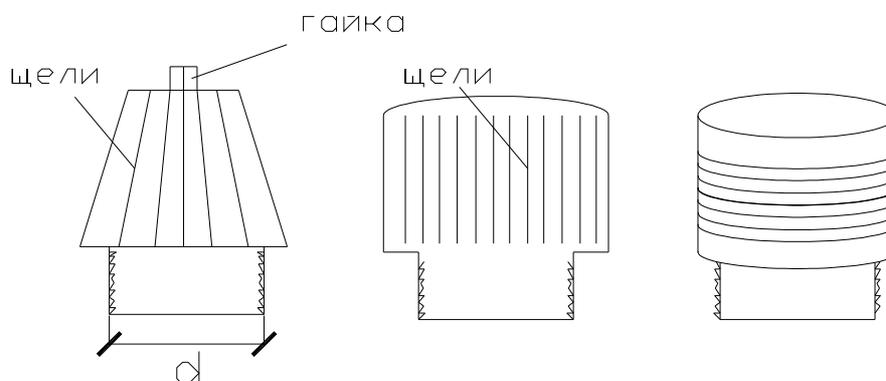


Рис. 7.4. Типы колпачковых дренажей: 1 – пластмассовые конусные колпачки; 2 – фарфоровые или пластмассовые круглые колпачки; 3 – пластмассовые цилиндрические с расположением щелей по окружности колпачки (применяются для ионообменных фильтров)

Иногда в фильтрах устраивают распределительную систему из пористых керамических или бетонных плит в виде промежуточного днища, которое также не требует поддерживающего слоя.

7.6. Промывка скорых фильтров

При достижении потери напора предельно допустимой величины в загрузке фильтра или ухудшении качества фильтрата фильтр останавливается и производится его промывка, в процессе которой происходит восстановление задерживающей способности загрузки. Промывку фильтра выполняют водой или совместным применением воздуха и воды.

При промывке загрузка расширяется и поверхность, которую она занимала в процессе фильтрования, приближается к кромке желобов. Находясь во взвешенном состоянии, отдельные зерна загрузки непрерывно соударяются друг с другом, в результате чего загрязнения, налипшие на них, отделяются и с потоком промывной воды удаляются из фильтра. Для нормально работающих скорых фильтров достаточно продолжительность промывки 5...7 мин. Хотя промывка фильтров является вспомогательным процессом (главная стадия – фильтрование воды), однако она оказывает решающее влияние на нормальный режим их работы. Если в процессе промывки фильтрующая загрузка отмывается недостаточно (из-за неправильно подобранного типа дренажа, неверно произведенного расчета), то это

приводит к постепенному накоплению остаточных загрязнений, что сокращает фильтроцикл вплоть до полной остановки фильтра. Поэтому при расчете желобов, распределительных систем и обвязки фильтров исходят из условий его промывки. Основной задачей промывки фильтров является установление такой интенсивности промывки и адекватного ей относительного расширения слоя загрузки, при которых обеспечивается практически полная отмывка зерен загрузки от прилипших к ним в процессе фильтрования загрязнений.

Теория промывки фильтров разработана Д.М. Минцем и С.А. Шубертом. Сущность ее сводится к следующим основным положениям. При промывке зерна фильтрующей загрузки переходят во взвешенное состояние, и весь ее слой расширяется при достижении некоторой критической скорости восходящего движения промывной воды.

Расширение слоя прямо пропорционально скорости восходящего движения воды, т. е. интенсивности промывки. При этом каждой скорости восходящего потока воды при данной ее температуре соответствует определенная степень расширения загрузки. При достижении предельного для данной восходящей скорости расширения устанавливается динамическое равновесие взвешенного слоя, хотя зерна его и пребывают в непрерывном хаотическом движении.

Для скорых фильтров процесс регенерации фильтрующей загрузки заключается в отмывки зерен от загрязнений, задержанных при фильтровании воды. Достигается это двумя способами: обратной промывкой фильтра путем подачи в его нижнюю часть промывной воды, взмучиванием самой загрузки и отводом загрязненной промывной воды через желоба и сборный канал из фильтра или применением водовоздушной промывки, когда одновременно с водой подается воздух. Водовоздушная промывка намного эффективнее, чем обычная, особенно если в загрузке задерживаются тяжелые примеси (например, железистые соединения) или когда загрузка малоподвижна (неподвижна). В то же время, для легкоподвижной загрузки – песка ($d_{экс} = 0,7...0,9$ мм), керамзита, угля – достаточно промывки обратным током воды. При этом в последних двух случаях она является основной, т.к. воздух может попасть в каверны частиц антрацита или угля и в конечном итоге часть зерен загрузки всплывает на поверхность, остается в верхнем слое, удаляется при повторной промывке и не участвует дальнейшем в процессе фильтрования воды.

Для кварцевого песка при $d_{экс} > 1$ мм, а также в условиях применения в качестве загрузки гравия, щебня достаточная эффективность отмывки

при снижении расхода промывной воды и уменьшении размеров водоотводящих устройств (желобов, каналов, трубопроводов) достигается применением водовоздушной промывки (рис. 7.5 и 7.6). Трубочки колпачков, выходящие под дренажное днище, имеют продольные вертикальные щели шириной 0,8...1,5 мм и длиной до 100 мм. Воздух, подаваемый в междонное пространство по трубе, скапливается под дренажным днищем фильтра, которое должно быть строго горизонтальным. Получающаяся таким образом воздушная подушка вытесняет воду из междонного пространства через нижние отверстия колпачков, прогоняя ее через толщу песка. Это продолжается до тех пор, пока уровень воды в междонном пространстве не опустится ниже верха щелей в хвостовой части колпачков. Тогда воздух начинает поступать в щели и через головки колпачков.

Рис. 7.5. Схема водовоздушной промывка в скором безнапорном фильтре: 1 – корпус фильтра; 2 – желоба; 3 – фильтрующая загрузка; 4 – поддерживающий слой; 5, 6 – коллектор водной дренажно-распределительной системы с боковыми ответвлениями; 7, 8 – коллектор воздушной системы (сжатый воздух) с боковыми ответвлениями

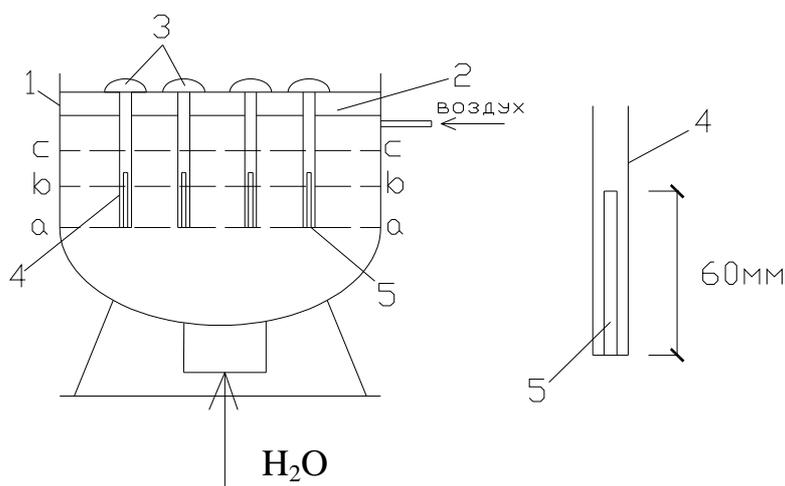
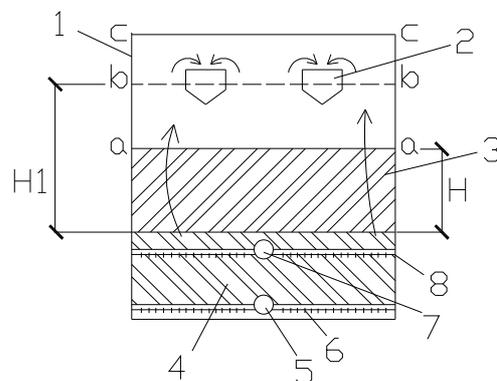


Рис. 7.6. Схема водовоздушной промывки с использованием дренажных (щелевых) колпачков в напорных фильтрах: 1 – корпус напорного фильтра; 2 – «ложное» дно фильтра (промежуточная горизонтальная плоскость, круглая в плане, в которой имеется отверстие для закрепления колпачков); 3 – щелевой колпачок; 4 – трубка, которая крепится к колпачку на резьбе (нижний конец полностью открыт), длиной 200...300 мм; 5 – щель на конце трубки

При устройстве фильтров без междонного пространства продувка песка воздухом осуществляется через распределительную трубчатую систему, уложенную на дне фильтра под песком параллельно с трубчатой системой, подающей промывную воду.

Недостатком наиболее широко применяемой промывки обратным потоком воды является возможная недостаточная степень отмывки зерен загрузки от загрязнений, а водовоздушной промывки – более сложная конструкция промывных устройств, т.е. сложность в эксплуатации, а также дополнительные энергозатраты.

Интенсивность подачи промывной воды W , степень расширения загрузки e (в период промывки) и продолжительность промывки $t_{пр}$ являются основными характеристиками процесса промывки фильтра.

Величина W представляет собой расход воды (л/с), приходящийся на единицу площади фильтра (m^2), который обеспечивает необходимое расширение загрузки и наилучшие условия ее отмывки от загрязнений и зависит от типа применяемой загрузки, гранулометрического состава и ее плотности (чем легче загрузка, тем меньше интенсивность ее промывки, и наоборот). При условии применения дренажа большого сопротивления и промывки только обратным током воды величина W для песка принимается 12...18, керамзита и угля – 8...12, гранитного песка – 18...26 л/с· m^2 , расход промывной воды будет равен

$$q = W \cdot f_{\phi}, \text{ л/с,}$$

где f_{ϕ} – площадь одного фильтра, m^2 .

Степень расширения фильтрующей загрузки зависит от типа дренажа и интенсивности промывки, т.е. $e = f(W)$ и определяется по формуле

$$e = \frac{H_1 - H}{H_1} \cdot 100 \%,$$

где H_1 – высота слоя загрузки в стадии промывки, м; H – высота слоя загрузки в стадии фильтрования воды, м.

Установлено, что для эффективной отмывки загрузки от загрязнений достаточно степени ее расширения 30...45 %.

Общая продолжительность промывки фильтра составляет

$$t_{общ} = t_1 + t_2 + t_3,$$

где t_1 – продолжительность понижения уровня воды в фильтре до границы фильтрующего слоя (объем воды направляется в РЧВ), до 10 мин; t_2 – про-

должительность промывки фильтрующей загрузки, 5...10 мин; t_3 – продолжительность сброса первого фильтрата в систему отвода промывных вод, 1...2 мин (после промывки в нижних слоях загрузки могут быть остаточные загрязнения).

Промывка фильтра может осуществляться как исходной, так и профильтрованной водой из резервуаров чистой воды. В первом случае обязательно надо производить удаление первого фильтрата в систему отвода промывных вод. Второй случай применяется очень часто, при этом сброс первого фильтрата может производиться (для надежности), а может и не производиться.

Для скорых фильтров общая продолжительность промывки загрузки $t_{общ}$ не превышает 0,33 ч (20 мин), включая и операции на закрытие и открытие соответствующих задвижек.

Водовоздушную промывку фильтрующей загрузки производят в несколько этапов:

- фильтр выключают из стадии фильтрования с понижением слоя воды практически до границы фильтрующей загрузки;

- по отдельной распределительной системе подается сжатый воздух интенсивностью $W = 15...20$ л/с·м² и продолжительностью 1...2 мин со скоростью выхода из отверстий 15...20 м/с;

- совместная подача воздуха и промывной воды продолжительностью 4...5 мин и интенсивностью: для воды – 3...4, воздуха – 15...20 л/с·м²;

- подача сжатого воздуха прекращается, дальнейшая отмывка загрузки производится только водой продолжительностью 4...5 мин и интенсивностью 4...6 л/с·м²;

- осуществляют сброс первого фильтрата продолжительностью 1...2 мин.

Общая продолжительность водовоздушной промывки загрузки $t_{общ}$ не превышает 0,5 ч (30 мин).

Иногда при фильтровании воды на поверхности загрузки может образовываться твердая корка, что не дает эффективно промывать эту загрузку (при промывке загрузка поднимается столбом, как единое целое, не размываясь). Если это происходит постоянно, то до основной промывки применяют дополнительно верхнюю промывку [1, 3, 7, 12].

7.7. Способы подачи промывной воды

Существует два способа подачи воды на промывку скорых фильтров:

- использование центробежных насосов (1 рабочий и 1 резервный), которые, как правило, устанавливаются в машинном зале насосной станции 2-го подъема (рис. 7.7);

– промывка поочередно водой из водонапорной башни, которая располагается рядом со зданием фильтров. В этом случае в период между промывками фильтров центробежными насосами (1 рабочий и 1 резервный) вода подается из резервуаров чистой воды на заполнение бака.

При известных емкости и размерах резервуаров чистой воды уровень воды Z_ϕ в скорых фильтрах составит

$$Z_\phi = Z_{\max} + h,$$

где h – потери напора воды при ее самотечном движении от скорого фильтра к резервуарам чистой воды (3...3,5 м), включая и потери напора в коммуникациях на этом же участке (0,5...1 м) [5]; Z_{\max} – максимальный уровень в резервуарах чистой воды.

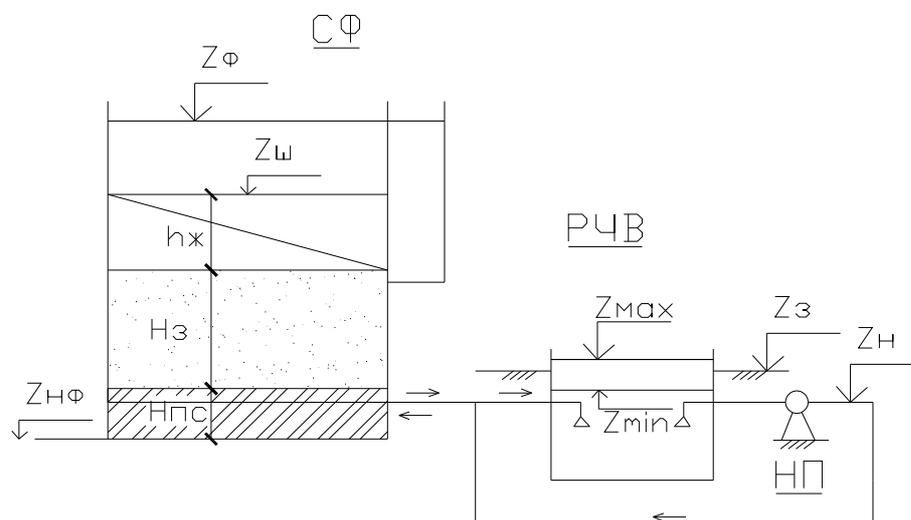


Рис. 7.7. Схема подачи промывочной воды на скорый фильтр центробежным насосом

Расстояние от уровня воды в фильтре до поверхности фильтрующей загрузки принимается 2 м. Высота фильтрующей загрузки и поддерживающих слоев H_z и $H_{пс}$ назначаются при расчете фильтров, тогда

$$Z_{нф} = Z_\phi - 2 - H_z - H_{пс}, \text{ м};$$

$$Z_{жс} = Z_\phi - 2 + h_{жс}, \text{ м};$$

$$Z_з = Z_{\max} - 0,5, \text{ м},$$

где $Z_{нф}$ – отметка низа фильтра, м; $Z_{жс}$ – отметка верхней кромки желоба, м; $Z_з$ – отметка земли (около РЧВ), м; $h_{жс}$ – полная высота желоба, определяемая при расчете фильтра, м.

Подбор марки насоса осуществляется по расходу q_n и напору H_n подачи промывной воды:

$$q_n = q_{np} = W \cdot f_\phi, \text{ л/с} \rightarrow \text{м}^3/\text{ч};$$

$$H_n = H_2 + \sum h + h_{изл}, \text{ м};$$

$$H_2 = Z_{жс} - Z_{\min}, \text{ м};$$

$$\sum h = h_{ком} + h_\phi, \text{ м},$$

где H_2 – геометрическая высота подъема воды, м; $Z_{жс}$ – отметка кромки желоба скорого фильтра, м; Z_{\min} – минимальный уровень в резервуарах чистой воды; $\sum h$ – потери напора в коммуникациях и фильтре при подаче промывной воды, м; $h_{изл}$ – напор воды на излив в фильтре, принимается 1,5...2,0 м; $h_{ком}$ – потери напора по длине и на местные сопротивления при подаче промывной воды в коммуникациях от насосной станции второго подъема до самого удаленного и невыгодно расположенного скорого фильтра (включая потери напора воды в насосной станции), м; h_ϕ – потери напора в фильтре при его промывке (складываются из потерь напора в фильтрующей загрузке, поддерживающих слоях и дренажно-распределительной системе), м.

При использовании башни емкость бака $W_б$ принимают исходя из количества промывной воды W_{np} , одновременно промывающих фильтров n , с учетом одной дополнительной промывки:

$$W_б = (n + 1)W_{np}, \text{ м}^3.$$

Отметка низа бака $Z_б$ определяется из следующего выражения:

$$Z_б = Z_{жс} + \sum h + h_{изл}, \text{ м}.$$

Для подачи воды в башню из резервуаров чистой воды в период между промывками фильтров, который устанавливается исходя из графика промывки, применяются центробежные насосы (обычно устанавливаются в помещении фильтровального зала – 1 рабочий и 1 резервный).

7.8. Устройства для сбора и отведения промывной воды

Для сбора и отведения промывной воды предусматриваются желоба (так же распределяют исходную воду на фильтрование) или струенаправляющие выступы (оступы). Далее промывная вода поступает в сборные каналы (карманы) и удаляется в систему отвода.

Желоба (рис. 7.8, *a* и *б*) располагаются выше зернистой загрузки, при этом нижняя кромка желобов должна быть на 0,05...0,06 м выше уровня загрузки. Для малых расходов воды в открытых скорых фильтрах неболь-

ших размеров желоба могут быть выполнены из металлических листов с полукруглым основанием $\frac{1}{2}$ части труб. В других случаях устраиваются желоба из монолитного железобетона с треугольным основанием. Количество желобов назначают конструктивно исходя из расстояния между осями соседних желобов – $< 2,2$ м, от крайних желобов до стен фильтра – $< 1,1$ м. Ширина желоба определяется по формуле [1, 3, 5]

$$B = k_5 \sqrt{\frac{q_{жс}^3}{(1,57 + a)^2}},$$

где $q_{жс}$ – расход промывной воды по одному желобу, $\text{м}^3/\text{с}$; k, a – коэффициенты, зависящие от формы поперечного сечения принятого желоба.

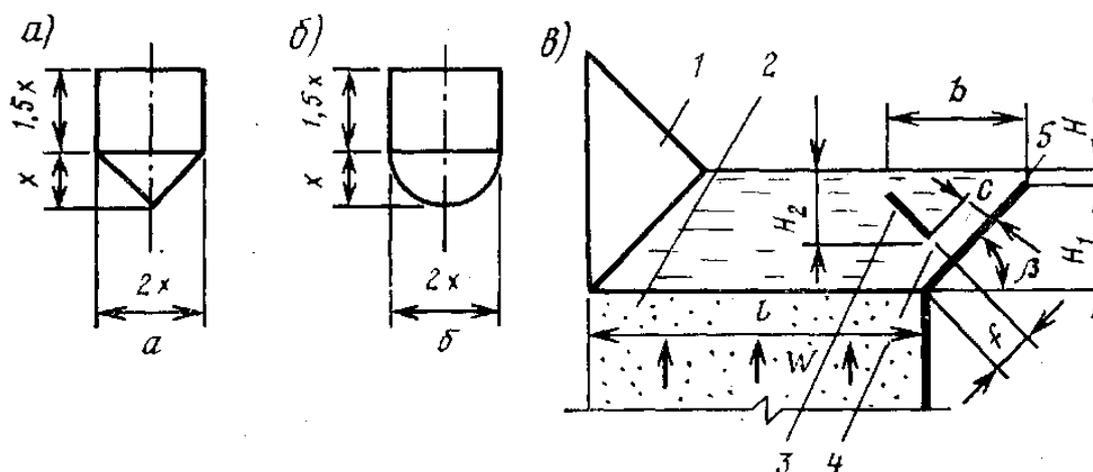


Рис. 7.8. Устройства для сбора и отведения промывной воды: а – желоб с треугольным дном; б – желоб с полукруглым дном; в – система с боковым отводом промывной воды и пескоулавливающим устройством; 1 – струенаправляющий выступ; 2 – загрузка фильтра; 3, 5 отбойная и переливная стенка пескоулавливающего устройства; 4 – щель для возврата выносимого песка

Высоту вертикальной части желоба принимают $(0,5 \dots 0,75)B$, а основания – $0,5B$, тогда полная высота желоба составит $(1 \dots 1,25)B$. Дно желоба устраивается с уклоном i не менее 0,01 на всю длину фильтра l . Высоту кромки желоба в фильтре принимают таким образом, чтобы самая низкая точка дна желоба (с учетом толщины стенок желоба δ) располагалась над фильтрующей загрузкой на $0,05 \dots 0,06$ м. Т.е. расстояние от кромки желоба до верхней границы фильтрующей загрузки в стадии фильтрования должно быть не менее

$$h_{жс} = (1 \dots 1,25)B + \delta + i \cdot l + (0,05 \dots 0,06), \text{ м.}$$

С другой стороны, минимальная высота кромки желоба над загрузкой определяется условиями промывки фильтра, высотой загрузки H и запасом высоты 0,3 м (чтобы не допустить выноса загрузки в желоб вместе с промывной водой) и составляет

$$H_{жс} = H \cdot e/100 + 0,3, \text{ м.}$$

При соотношении $H_{жс} > h_{жс}$ расположение желоба над фильтрующей загрузкой оставляют в соответствии с расчетной величиной $H_{жс}$. Если наблюдается обратное соотношение, т.е. $H_{жс} < h_{жс}$, то высоту кромки желоба над загрузкой принимают равной величине $h_{жс}$.

Систему горизонтального отвода промывной воды (рис. 7.8, в) обычно применяют в сооружениях обратного фильтрования воды, например, контактных осветлителях. Промывная вода из надгрузочного объема проходит через пескоулавливающее устройство, сливается в верхнее отделение бокового (центрального) канала и далее в водосток. Необходимая скорость горизонтального потока в начальном сечении создается за счет его стеснения струенаправляющим выступом (оступом). Выносимые потоком отдельные зерна загрузки оседают на стенках желоба и через щель между стенками попадают опять в загрузку.

Сборные каналы могут быть боковыми или центральными и устраиваются из монолитного железобетона. Центральный канал применяется при площади фильтра свыше 50 м². Тогда желоба располагаются по обе стороны канала. Ширину сборного канала $b_{кан}$ назначают конструктивно исходя из диаметра трубопровода, отводящего промывную воду от фильтра, и условий его ремонта, но не менее 0,7 м.

Общая высота канала определяется исходя из его высоты от верха фильтра до дна желоба в точке примыкания его к каналу и расчетной величины $H_{кан}$ [1, 5], определяющей расстояние от этой точки до низа канала:

$$H_{кан} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{gb_{кан}^2}} + 0,2, \text{ м,}$$

где $q_{кан}$ – расход промывной воды по каналу, м³/с; g – ускорение силы тяжести, м/с².

7.9. Регулирование скорости фильтрования

При работе скорых фильтров по эксплуатационным соображениям желательно обеспечить постоянную производительность фильтра, т.е. постоянную скорость фильтрования. Для этого на трубопроводе, отводящем

фильтрованную воду, вводят дополнительное сопротивление, которое уменьшается по мере загрязнения фильтра и поглощает весь избыточный напор до минимально возможной по конструктивным соображениям величины, приближаемой к h_0 (см. п. 7.4).

В качестве такого переменного дополнительного сопротивления используют различного типа регуляторы скорости фильтрации, работающие автоматически. На некоторых станциях (малой производительности)

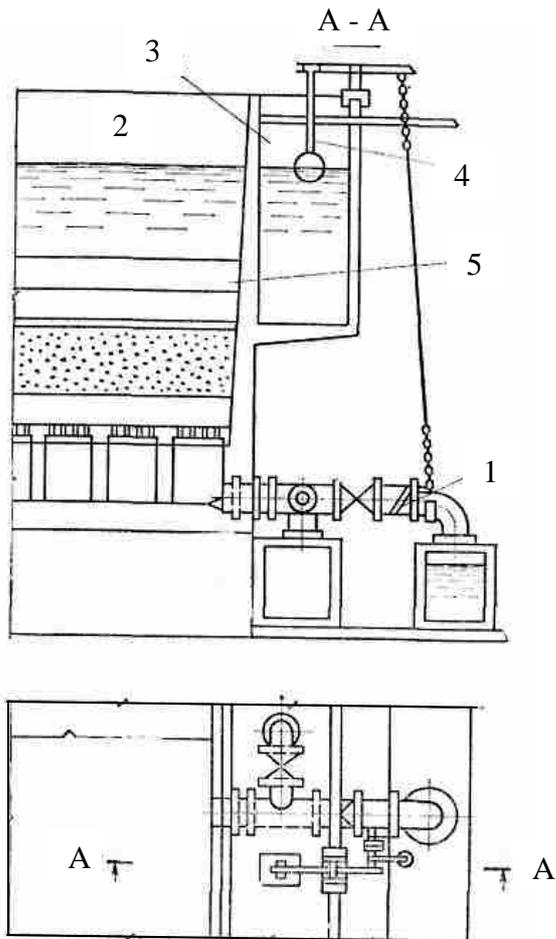


Рис. 7.9. Регулятор фильтрации дроссельного типа: 1 – дроссельный клапан (заслонка); 2 – скорый фильтр; 3 – боковой канал (карман) фильтра; 4 – поплавок; 5 – желоб

еще возможно применение ручного регулирования скорости фильтрации путем постепенного открытия задвижки, установленной на отводящей линии. При таком регулировании скорость фильтрации в период между операциями с задвижкой снижается.

На рис. 7.9 приведена схема дроссельного регулятора. На трубопроводе, отводящем профильтрованную воду, установлен дроссельный клапан (1), связанный с помощью тяг и рычага с поплавком (4), находящимся в подводящем кармане фильтра (3). При повышении уровня воды в фильтре (2) поплавок (4) поднимается, дроссельный клапан открывается, создаваемое им сопротивление уменьшается, вследствие чего увеличивается количество проходящей через фильтр воды. Амплитуда колебаний уровня воды на фильтре при установке дроссельного регулятора значительно уменьшается, а скорость фильтрации меняется в зависимости от количества подаваемой на фильтр воды.

Для сохранения одинаковой скорости фильтрации на всех фильтрах при применении дроссельных регуляторов необходимо обеспечивать правильное распределение между фильтрами поступающей на фильтро-

вальную станцию воды. Для этой цели можно применять распределительный желоб 5 с водосливами или отверстиями одинаковой величины против каждого фильтра.

Таким образом, в то время как при применении регуляторов скорости фильтрования подача воды на фильтровальную станцию должна точно увязываться с установленной на них скоростью фильтрования, при применении дроссельных регуляторов подачу воды на станцию можно изменять, однако с таким условием, чтобы скорость фильтрования не превышала допустимых пределов.

На рис. 7.10 показано устройство пневматического регулятора скорости фильтрования, позволяющего регулировать работу как одного фильтра, так и группы фильтров. Вода из фильтра поступает в регулятор – герметичную вертикальную колонну (1). Через водослив в регуляторе (2) вода отводится по трубопроводу (3) в сборный коллектор фильтрата (4). Регулирование скорости фильтрования происходит в результате изменения давления воздуха над слоем воды в регуляторе.

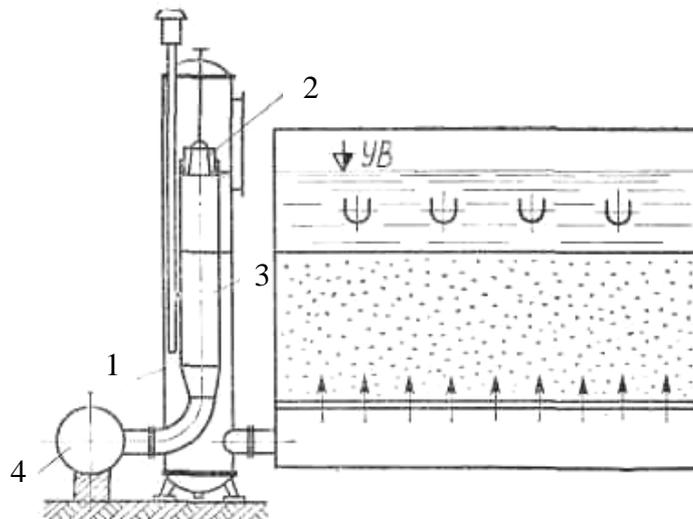


Рис. 7.10. Регулятор скорости фильтрования пневматического типа: 1 – вертикальная колонна; 2 – регулятор давления; 3 – успокоительный участок трубы; 4 – трубопровод фильтрата

На рис. 7.11 показана схема устройства регулятора скорости фильтрования системы АКХ. Регулятор (1) представляет собой коробку, разделенную упругой мембраной (2) на две камеры. На трубе, подающей воду на фильтр, установлена диафрагма (3), от которой идут импульсные трубки (4) к верхней и нижней камерам регулятора. Регулятор соединен штоком (9) с золотником (8). От золотника идут соединительные трубки (7) к гид-

роприводу (6), управляющему задвижкой (5) на подающей трубе. Перепад давления на диафрагме, соответствующий заданному расходу подаваемой воды, уравнивается грузом (10).

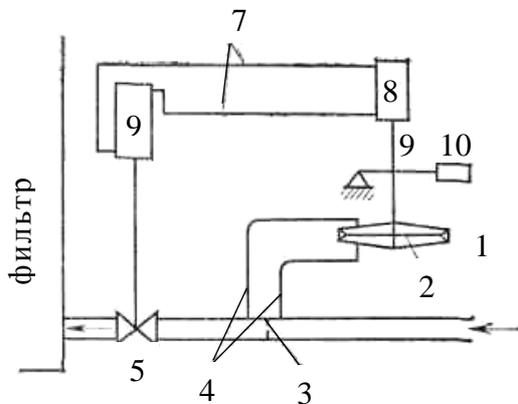


Рис. 7.11. Регулятор скорости фильтрации гидравлического типа: 1 – камера регулятора давления; 2 – мембрана; 3 – калибровочная диафрагма (шайба); 4 – импульсные трубки; 5 – задвижка; 6 – гидропривод задвижки; 7 – соединительные гидравлические трубки; 8 – золотниковое устройство; 9 – шток 10 – груз

При изменении расхода подаваемой воды, а следовательно, и скорости фильтрации изменяется перепад давления, в зависимости от которого шток поднимается или опускается. В результате золотник подает воду в верхнюю или нижнюю часть гидропривода задвижки, увеличивая или уменьшая степень ее открытия в той мере, в какой это требуется для подачи заданного расхода.

Вместо гидропривода в последнее время часто используется электропривод.

7.10. Принципы расчета и проектирования скорых фильтров

Расчет скорых фильтров предусматривает определение их количества и площади, нахождения числа и размеров промывных желобов и устройств, подбор фильтрующей загрузки и поддерживающих слоев, определение размеров элементов распределительной системы, бокового или центрального канала и диаметров подводящих и отводящих трубопроводов. Также должна быть определена высотная схема расположения сооружений и коммуникаций и произведен расчет устройств для подачи, отвода и обработки промывной воды.

Фильтры и их коммуникации должны рассчитываться на работу при нормальном и форсированном режимах. Общую площадь фильтров F_{ϕ} , определяют по формуле [3, 5, 11, 12, 40]

$$F_{\phi} = Q / (T_{cm} \cdot v_n - n_{np} \cdot q_{np} - n_{np} \cdot \tau_{np} \cdot v_n), \text{ м}^2,$$

где Q – полезная производительность станции, $\text{м}^3/\text{сут}$; T_{cm} – продолжительность работы станции в течение суток, ч; v_n – расчетная скорость фильт-

рования при нормальном режиме эксплуатации, м/ч; n_{np} – количество промывок каждого фильтра за сутки; q_{np} – удельный расход воды на одну промывку одного фильтра, м³/м²; τ_{np} – время простоя фильтра в связи с промывкой, ч.

$$q_{np} = 3,6 \cdot W \cdot t_1, \text{ м}^3/\text{м}^2,$$

где W – интенсивность промывки, равная 15 л/(с·м²); t_1 – продолжительность промывки, равная 0,1 ч.

Период работы водоочистного комплекса в течении суток T_{cm} для станций малой производительности может составлять 16 и менее часов, а для станций средней и большой производительности – 24 ч.

Расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме v_n (м/ч) назначается в зависимости от выбранного типа загрузки [3, 5, 7].

Число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации τ_{np} принимается 1...2, но может быть < 1, а общее время, затраченное на регенерацию загрузки и простоя фильтра в связи с промывкой, составляет для фильтров, промываемых водой, 0,33 ч, водой и воздухом – 0,5 ч.

На водоочистном комплексе с суточной производительностью свыше 1600 м³ число рабочих фильтров принимают не менее четырех. При суточной производительности комплекса более 8...10 тыс. м³ число фильтров N_ϕ находят из выражения

$$N_\phi = 0,5 \cdot \sqrt{F_\phi}, \text{ шт.}$$

Скорость фильтрования воды при форсированном режиме составит:

$$v_\phi = v_n N_\phi / (N_\phi - N_1), \text{ м/ч,}$$

где N_1 – количество фильтров (шт.), находящихся в ремонте.

При площади одного фильтра менее 50 м² принимают конструкцию фильтра с боковым каналом, а более – с центральным.

Малое количество фильтров располагают в фильтровальном зале в один ряд, а большое (обычно 6...8 шт. и более) – в два ряда. Коммуникации можно располагать в проеме между рядами или с двух сторон фильтров.

Тип фильтрующей загрузки и поддерживающих слоев фильтра надлежит принимать по [1, 3, 5, 7, 11].

Если потери напора в фильтрующей загрузке достигают предельно допустимой величины или начинает ухудшаться качество фильтрата, то

это служит сигналом для остановки фильтра на промывку, чтобы восстановить задерживающую способность загрузки. Промывку производят обратным током фильтрованной воды или воздуха и воды. Вода подается на промывку в течение 5...8 мин промывным насосом из резервуара фильтрованной воды. Можно подавать воду самотеком из установленного на требуемой высоте бака промывной башни. Наполнение бака производят насосом за период между двумя промывками фильтров из общего трубопровода фильтрата в фильтровальном здании.

Промывка фильтров является вспомогательным процессом, однако она может оказать решающее влияние на их нормальный режим работы. Если в процессе промывки фильтрующая загрузка отмывается недостаточно, то это приводит к постоянному накоплению остаточных загрязнений, что сокращает фильтроцикл, а часто выводит фильтр полностью из работы.

Для загрузок из кварцевого песка при $d_{экс} > 1$ мм в целях повышения эффекта отмывки, снижения расхода промывной воды и уменьшения размеров водоотводящих устройств целесообразно применять водовоздушную промывку, которую производят подачей воды и воздуха по отдельным трубчатым распределительным системам или через распределительные системы со специальными колпачками. Водовоздушную промывку рекомендуется также применять для песчаных фильтров с системой горизонтального отвода промывной воды с пескоулавливающим желобом, образуемым двумя наклонными стенками – отбойной и водосливной. При использовании фильтрующих загрузок из дробленого антрацита, активных углей и керамзита водовоздушная промывка не допускается.

Скорость движения воды в трубопроводах, подающих и отводящих промывную воду, назначают 0,8...1,2 м/с. Для удаления воздуха из коллектора дренажно-распределительной системы необходимо предусматривать стояки-воздушники диаметром 50...150 мм.

7.11. Конструкции скорых фильтров

7.11.1. Скорые однослойные фильтры

В зависимости от напора воды, поступающей на фильтры, работающие по принципу прямого фильтрования (6...15 м/ч), они могут быть безнапорными и напорными. Основными фильтрующими материалами является кварцевый песок, керамзит, могут быть различные местные материалы. В зависимости от применяемого типа дренажно-распределительной

системы скорые фильтры могут устраиваться с поддерживающими слоями или без них.

Конструкции и элементы скорых безнапорных фильтров были рассмотрены выше.

Напорные фильтры, как правило, не имеют гравийных поддерживающих слоев, их дренаж выполняется в виде трубчатой магистрали с ответвлениями, снабженными фарфоровыми или пластмассовыми дренажными колпачками или щелями, прорезанными электроискровым методом. В случае применения водовоздушной промывки специальная распределительная система располагается в фильтрующей загрузке над основным дренажем фильтра или применяются колпачки типа В-1, позволяющие производить подачу воды и воздуха одновременно; сверху фильтра устанавливается вантуз.

Напорные фильтры широко используются для осветления воды после обработки ее коагулянтами без предварительного отстаивания, а также при безреагентном осветлении воды с содержанием взвешенных веществ от 20 до 500 мг/л; применяются также при специальной обработке воды, например, с целью удаления железа. Расчетную скорость фильтрования при нормальном режиме с предварительным отстаиванием принимают 5...15 м/ч.

Напорный фильтр (рис. 7.12) представляет собой закрытый стальной цилиндрической формы резервуар со сферическими днищами, рассчитанными на внутреннее давление до 4...6 атм.

Фильтр имеет дренажную систему, фильтрующий слой, устройства для сбора фильтрата и отвода промывной воды. Кроме того, они оборудуются трубопроводами с соответствующей арматурой для подвода и отвода фильтруемой воды, а также для подачи промывной воды и воздуха.

На практике применяют вертикальные и горизонтальные (рис. 7.13) напорные фильтры. Диаметр вертикальных напорных фильтров составляет в пределах 1...3,4 м.

Производительность вертикальных напорных фильтров зависит от состава исходной воды, типа и высоты фильтрующего материала и принятой скорости фильтрования. Например, для фильтра диаметром 1 м производительность может составить 5...12 м³/ч. Из экономических соображений количество их на станциях водоподготовки должно быть в пределах 4...6, т.е. они пригодны для станций с полезной производительностью до

5000 м³/сут. Если производительность станции большая и применить открытые железобетонные фильтры невозможно, устанавливают горизонтальные напорные фильтры диаметром 3 м и длиной 10 м.

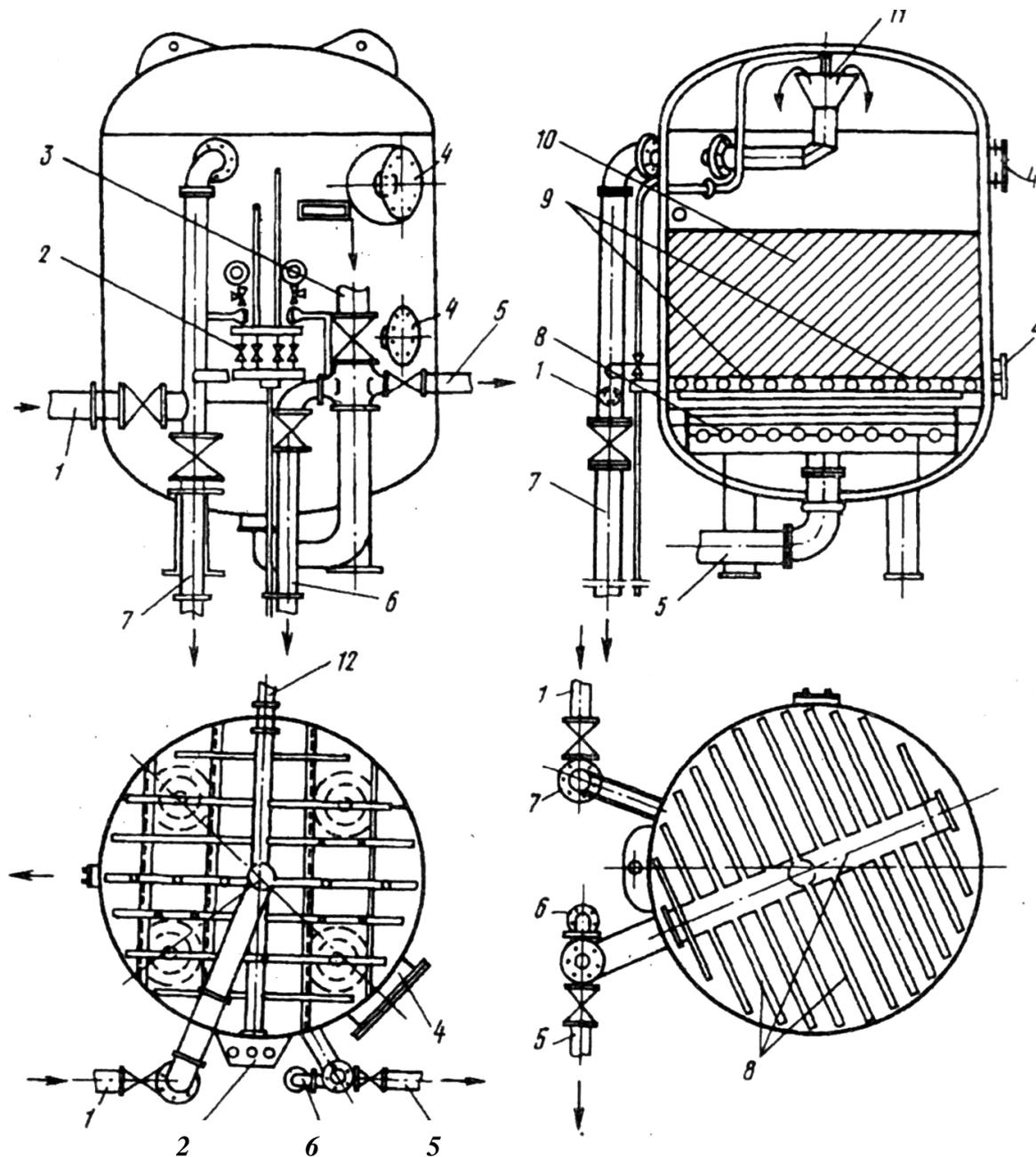


Рис. 7.12. Скорый вертикальный напорный фильтр с песчаной (керамзитовой) загрузкой: 1, 5 – подача исходной воды и отвод фильтрата; 2 – пробоотборники; 3, 7 – подача и отвод промывной воды; 4 – люки; 6 – сброс первого фильтрата и опорожнение; 8 – распределительная (дренажная) система; 9 – воздухораспределительная 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

Потеря напора в слое фильтрующей загрузки перед промывкой принимается до 8...10 м вод. ст. Расчетная интенсивность промывки восходящим потоком воды для кварцевого песка и мраморной крошки составляет 14...18 л/(с·м²), продолжительность промывки – 5...8 мин.

В случае применения водовоздушной промывки подача сжатого воздуха осуществляется через нижний дренаж с напором воздуха перед фильтром 1 атм.; интенсивность продувки – 15...20 л/с·м², длительность продувки – 3 мин.

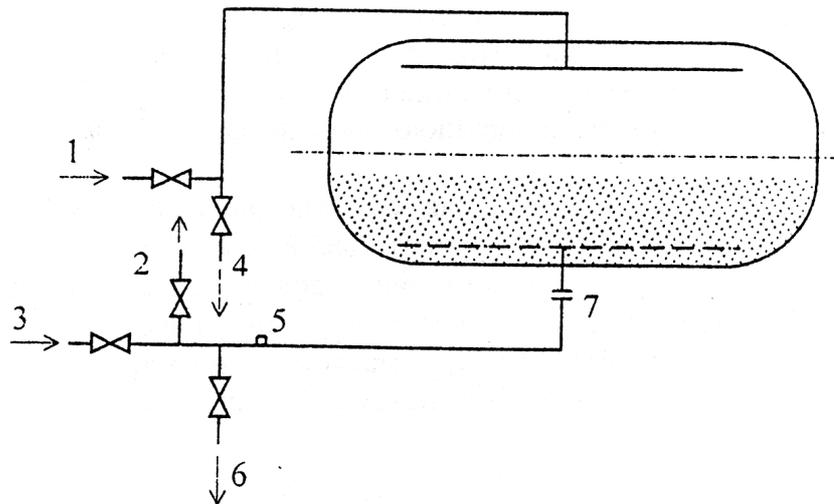


Рис. 7.13. Схема работы горизонтального однокамерного фильтра ФОГ 3,0-6-5,5: 1 – подвод обрабатываемой воды; 2 – выход отфильтрованной воды; 3 – подвод промывной воды; 4 – спуск промывной воды; 5 – подвод сжатого воздуха; 6 – спуск первого фильтрата; 7 – гидрозатворка фильтрующего материала

7.11.2. Грубозернистые фильтры

Частичное осветление воды (например, для производственных целей) нередко осуществляют без предварительного отстаивания и коагулирования путем фильтрования на фильтрах с грубозернистой загрузкой и повышенными скоростями фильтрования (10...15 м/ч). При этом мутность исходной воды может быть до 300 мг/л.

Фильтрующая загрузка представляет собой песок, дробленый керамзит или антрацит с крупностью зерен от 0,8...2,5 мм при коэффициенте неоднородности 1,8...2,5. Содержащиеся в воде взвешенные вещества проникают в толщу грубозернистого фильтра значительно глубже, чем мелкозернистой фильтрующей загрузки, и при указанной крупности зерен необходимо увеличивать высоту слоя фильтрующего материала в пределах 1,5...3 м.

Применение фракций загрузки значительной крупности позволяет отказаться от поддерживающих слоев или уменьшить их толщину. Дренаж для фильтров без поддерживающих слоев выполняется с помощью колпачков различных конструкций, располагаемых на дренажном днище фильтра или на трубчатой распределительной системе.

Грубозернистые фильтры по сравнению с обычными требуют значительного увеличения интенсивности промывки обратным током воды, поэтому для них наиболее целесообразно применять водовоздушную промывку.

Для хозяйственно-питьевых целей при мутности до 120 мг/л и цветности до 120° можно использовать в качестве предварительных фильтры первой ступени.

7.11.3. Скорые двухпоточные фильтры конструкции АКХ

Из анализа работы обычных скорых фильтров видно, что вода, поступающая по направлению сверху вниз, отлагает загрязнения главным образом в верхнем, наиболее мелкозернистом, слое песка. Вследствие этого грязеемкость остальной части фильтрующего материала практически остается неиспользованной. В этих условиях верхние его слои быстро загрязняются, потери напора быстро возрастают, вследствие чего период полезной работы между промывками оказывается меньше расчетного значения.

В скорых фильтрах конструкции, разработанной Академией коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, получивших название «фильтры АКХ», основная масса воды подается на фильтр снизу (к концу фильтроцикла до 80 % от общего объема) и проходит сначала нижние, относительно крупнозернистые слои фильтрующего материала. В результате этого загрязнения располагаются в толще фильтра более равномерно, грязеемкость его возрастает, нарастание потерь напора идет медленно, и длительность рабочего периода увеличивается.

Чтобы воспрепятствовать взвешиванию верхних слоев мелкого песка при относительно больших скоростях восходящего потока воды, некоторая часть воды (до 20 %) в фильтрах АКХ подается сверху. Фильтрат отводится системой дренажных труб, расположенных в толще песка на глубине 50...60 см от поверхности (до оси труб). По такому принципу работы фильтр назван двухпоточным.

Фильтры АКХ дают возможность увеличить период работы между промывками или повысить скорость фильтрования. Нормальная расчетная

(условная) скорость фильтрования, рекомендованная для этих фильтров техническими условиями на их проектирование, составляет 12 м/ч, при этом под расчетной скоростью фильтрования понимается сумма скоростей фильтрования восходящего и нисходящего потоков. Благодаря относительно большой скорости фильтрования площадь этих фильтров значительно сокращается по сравнению с площадью обычных фильтров.

Максимальная скорость при форсированной работе станции (на период промывки, ремонта) не должна превышать 15 м/ч.

Для этих фильтров толщина слоя песка принимается от 1,45 до 3,65 м при эквивалентном диаметре зерен загрузки $d_3 = 0,9$ мм.

Для устройства дренажа в теле фильтра рекомендуются щелевые трубы (обычно пластмассовые с шириной щелей 0,4...0,5 мм). Суммарная площадь щелей должна составлять 1,5...2 % площади фильтра.

Промывка фильтров АКХ производится через нижнюю распределительную систему, выполненную в виде трубчатого дренажа большого сопротивления. Диаметр отверстий принимается в пределах 10 – 12 мм.

Для промывки фильтров сначала в течение 1...2 мин подается вода через верхний дренаж в количестве 6...8 л/(с·м²) для взрыхления верхнего слоя песка (что значительно повышает эффективность отмывки всей загрузки), затем включается основная, нижняя система, работающая с интенсивностью 13...15 л/(с·м²) в течение 6...5 мин; одновременно некоторое количество воды продолжает подаваться через верхний дренаж для предотвращения его засорения. После этого нижняя система выключается, и в течение 1...2 мин производится подача воды в верхний дренаж с интенсивностью 10...12 л/(с·м²) для продувки щелей.

Максимальный расход воды для промывки фильтров АКХ составляет от 4 до 5,5 % объема осветляемой воды (при двух промывках в сутки).

Основным недостатком работы фильтра является засорение и заиливание щелей верхнего дренажа в период фильтрования воды, что в конечном итоге привело к ограниченному применению фильтров этой конструкции.

7.11.4. Контактные осветлители

Контактный осветлитель представляет собой разновидность скорого фильтра, работающего по принципу обратного фильтрования воды со скоростью 3...5 м/ч.

На контактный осветлитель направляется вода для осветления и обезцвечивания без предварительного отстаивания или обработки во взвешенном слое, т.е. в данном случае используется одноступенчатая схема очистки. При этом мутность и цветность исходной воды может достигать до 120 мг/л и 120°.

Технологическая схема применения контактных осветлителей включает в себя сетчатые установки (барабанные сетки или микрофильтры, расположенные обычно над входной камерой) для удаления грубодисперсных примесей и входные камеры, где происходит ввод растворов реагентов и их смешение с обрабатываемой водой. Объем входных камер рассчитывается на время пребывания воды не менее 5 минут и определяется исходя из последовательности и рекомендуемых временных периодов ввода растворов реагентов в воду.

В последнее время для более загрязненных вод с мутностью до 300 мг/л широко используют двухступенчатое фильтрование, где осветлители применяются как предварительные фильтры (префильтры) I ступени. Для II ступени используются скорые фильтры.

Особенностью процесса фильтрования воды на осветлителях является контактная коагуляция в толще фильтрующей загрузки. За короткий промежуток времени от момента введения коагулянта до начала фильтрования в воде могут образовываться лишь микроагрегаты коагулирующих частиц. Дальнейшая агломерация примесей происходит не в свободном объеме воды, а на зернах загрузки контактного осветлителя; частицы адсорбируются на поверхности зерен, образуя отложения характерной для геля сетчатой структуры. Такой процесс обуславливается контактом воды, содержащей коагулированные примеси, с поверхностью зерен контактной массы и идет с большой полнотой во много раз быстрее, чем конвективная коагуляция в свободном объеме.

Для ведения контактной коагуляции необходимо предусмотреть такую дозу коагулянта (она, как правило, меньше на 10...15 %, чем при обычной коагуляции), при которой частицы примесей теряют свою агрегативную устойчивость в отношении прилипания к поверхности зерен контактной массы. Такие дозы обычно являются недостаточными, чтобы обеспечить быстрое хлопьеобразование в свободном объеме с получением тяжелых, хорошо декантирующих хлопьев. Кроме того, при контактной коагуляции на процесс фильтрования воды не влияют температура воды и ее анионный состав, наличие грубодисперсных взвесей и ее щелочность.

Отпадает необходимость в хлопьеобразовании для обеспечения протекания ортокинетической фазы коагулирования примесей. Уменьшается также объем сооружений обработки воды с применением контактных осветлителей в 4...5 раз по сравнению с объемом сооружений обычного типа (двухступенчатые схемы отстаивания и фильтрования).

По устройству и конструктивным особенностям различают три модели контактных осветлителей. Первая модель по конструкции аналогична скорым фильтрам, но сбор фильтрата и промывной воды осуществляется с помощью желобов и представляет собой железобетонный резервуар, заполненный песком с крупностью зерен 0,5...2 мм и толщиной слоя 2 м. Распределительная водная система располагается в поддерживающих слоях. Осветляемая вода проходит через слои загрузки снизу вверх в направлении убывающей крупности зерен.

Расчетная скорость восходящего потока воды при рабочем цикле осветления принимается не более 5 м/ч в зависимости от количества осветлителей (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Расчетная скорость фильтрования контактных осветлителей

Количество осветлителей	3	4	5	6 и более
Расчетная скорость восходящего потока в м/ч	4	4,5	4,8	5

Продолжительность рабочего цикла при расчетной скорости потока воды принимается не менее 8 ч, интенсивность промывки – $13...15 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$, продолжительность промывки – 7...8 мин, продолжительность простоя фильтра в связи с промывкой – до 20 мин. Первые порции фильтрата в течение 7...10 мин сбрасываются в сток.

В контактном осветлителе второй модели (КО-2) в верхнем слое фильтрующей загрузки имеется промежуточная дренажная система, которая собирает 30...50 % фильтрата, что способствует надежности его работы. Но эта же система может забиваться примесями и зернами загрузки, особенно в процессе промывки осветлителя; после промывки ее необходимо продувать обратным потоком воды, т.е. конструкция достаточно сложная, которую трудно эксплуатировать. Поэтому данная модель на практике не получила распространение.

Последнее время широко применяется контактный осветлитель третьей модели (КО-3, рис. 7.14), в котором вместо желобов используется система горизонтального отвода воды с устройством струенаправляющего выступа (отступа) и предусмотрена водовоздушная промывка.

В контактных осветлителях, по условиям их действия, слой воды над загрузкой является осветленным. Чтобы предотвратить возможность его повторного загрязнения, зеркало воды в контактных осветлителях ограждается от коридора управления остекленными перегородками высотой не менее 2,5 м. Нижний пояс перегородки на высоту 1 – 1,2 м должен быть глухим.

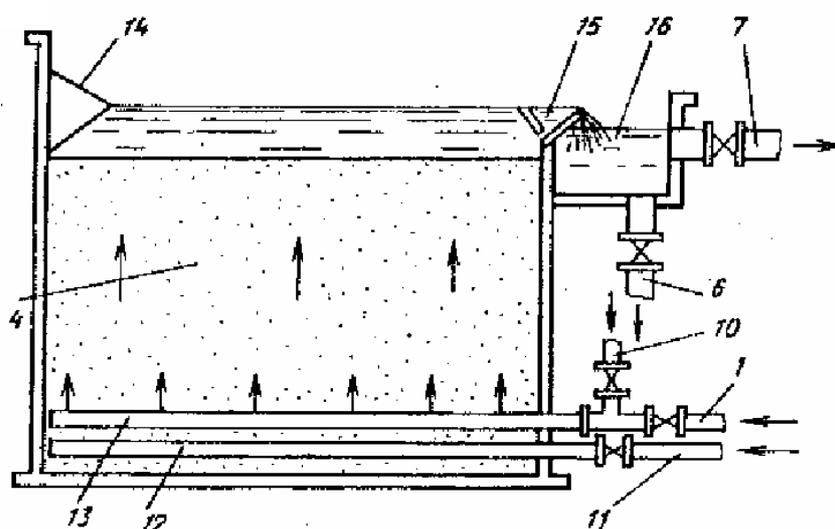


Рис. 7.14. Схема работы контактного осветлителя модели КО-3: 1, 7 – подача исходной промывной воды и отвод фильтрата; 4 – фильтрующая загрузка; 6 – отвод промывной воды; 10 – подача промывной воды; 11 – подача воздуха при промывке; 12, 13 – воздушно- и водо-распределительная системы; 14 – струенаправляющий выступ; 15 – пескоулавливающий желоб; 16 – боковой карман.

7.11.5. Контактные фильтры, их конструкции

В контактных фильтрах, в работе которых используется явление контактной коагуляции, вода с добавленными к ней реагентами, в отличие от контактных осветлителей, фильтруется через зернистые загрузки в направлении сверху вниз, т.е. как в обычных скорых фильтрах. Для увеличения грязеемкости фильтрующей загрузки ее делают двух- или многослойной, а также из крупнозернистого материала. Характеристика фильтрующих загрузок контактных фильтров приведена в табл. 7.2.

В контактных фильтрах рекомендуется применять дренажи без подстилающих слоев с распределительной системой из керамических порис-

тых плиток или винипластовых щелевых труб. Грязеемкость их загрузки примерно такая же, как и у контактных осветлителей, а эксплуатационные затраты несколько ниже. При использовании контактных фильтров отпадает необходимость в строительстве сооружений или установке специального оборудования для защиты распределительных систем от загрязнения.

Важным преимуществом контактных фильтров является возможность значительного форсирования их работы путем повышения скорости фильтрования до 9 м/ч с одновременным увеличением полезной подачи воды в водопроводную сеть в период максимального водопотребления.

В результате произведенных испытаний контактных фильтров установлено, что раствор коагулянта следует подавать в воду непосредственно перед поступлением ее в фильтрующую загрузку. Контактные фильтры целесообразно применять в одноступенчатых схемах обработки воды при общем количестве взвеси в ней не более 50...60 мг/л.

Таблица 7.2

Характеристика фильтрующих загрузок контактных фильтров

Тип фильтра	Загрузка	
	Слой, м	Крупность, мм
КФ-2	Антрацитовая крошка	
	0,7	0,8...1,8
	Кварцевый песок	
КФ-3	0,8	0,9...1,8
	Кварцевый песок	
КФ-3	2,0	0,9...1,8
	Керамзит	
КФ-5	0,5	2,3...3,3
	Аглопорит	
	0,5	1,25...2,3
	Кварцевый песок	
	0,5	0,7...1,25

Маркировка контактных фильтров – КФ-1...6, которые различаются между собой количеством слоев и их высотой.

В системах коммунального, а также производственного водоснабжения нашел применение прямоточный открытый контактный фильтр КФ-5 (рис. 7.15) с трехслойной фильтрующей загрузкой (по 0,5 м каждый).

Верхний слой (керамзит, антрацит, полимеры) имеет крупность зерен 2,3...3,3 мм, средний (аглопорит, антрацит, керамзит, горелые породы) – 1,25...2,3 мм, нижний (кварцевый или гранитный песок, горелые породы) – 0,7...1,25 мм. Скорость фильтрования – до 20 м/ч, интенсивность промывки – 15 л/с · м², продолжительность – 6...8 мин.

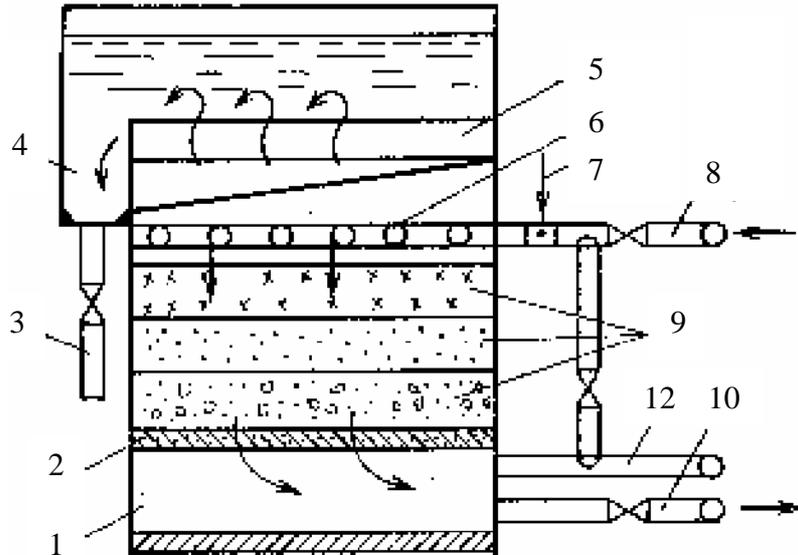


Рис. 7.15. Схема работы контактного фильтра КФ-5: 1 – поддон; 2 – ложное дно (распределительное устройство) из пористого полимербетона; 3, 10 – отвод и подача промывочной воды; 4 – боковой карман; 5 – водосборные желоба; 6 – перфорированные трубы водораспределительной системы; 7 – ввод реагентов; 8, 11 – подача исходной воды и отвод фильтрата; 9 – три слоя фильтрующей загрузки

7.11.6. Сверхскоростные фильтры

Сверхскоростные фильтры системы Г. Н. Никифорова (рис. 7.16) работают при скоростях фильтрования от 25 до 100 м/ч. Значительные потери напора на фильтре потребовали пропуска воды через него под большим давлением ($> 0,6$ МПа), а быстрое засорение фильтрующего материала вызвало создание особой автоматической системы промывки фильтров.

Также фильтры напорного типа представляют собой единый корпус в виде цилиндра со сферическими крышками, разделенными глухими перегородками на 8 частей. Корпус вращается вокруг своей оси поступательно на $1/8$ часть, при этом одна из ячеек будет находиться в режиме промывки, а остальные – в режиме фильтрования. В качестве запорных устройств используются электромагнитные клапаны.

Для загрузки ячеек фильтра применяется кварцевый песок. Вследствие больших скоростей фильтрования продолжительность фильтроцикла мала по сравнению со скорыми фильтрами.

Например, для хозяйственно-питьевых целей при исходной мутности не более 50 мг/л и скорости фильтрования 90...100 м/ч фильтр осуществляет полный оборот за 81 мин (72 мин – фильтрование, 9 мин – промывка).

Эти фильтры часто применяются в тех случаях, когда к прозрачности фильтрата не предъявляется особо высоких требований (преимущественно при грубом осветлении воды для производственных нужд).

Их недостатком является сложность конструкции и эксплуатации.

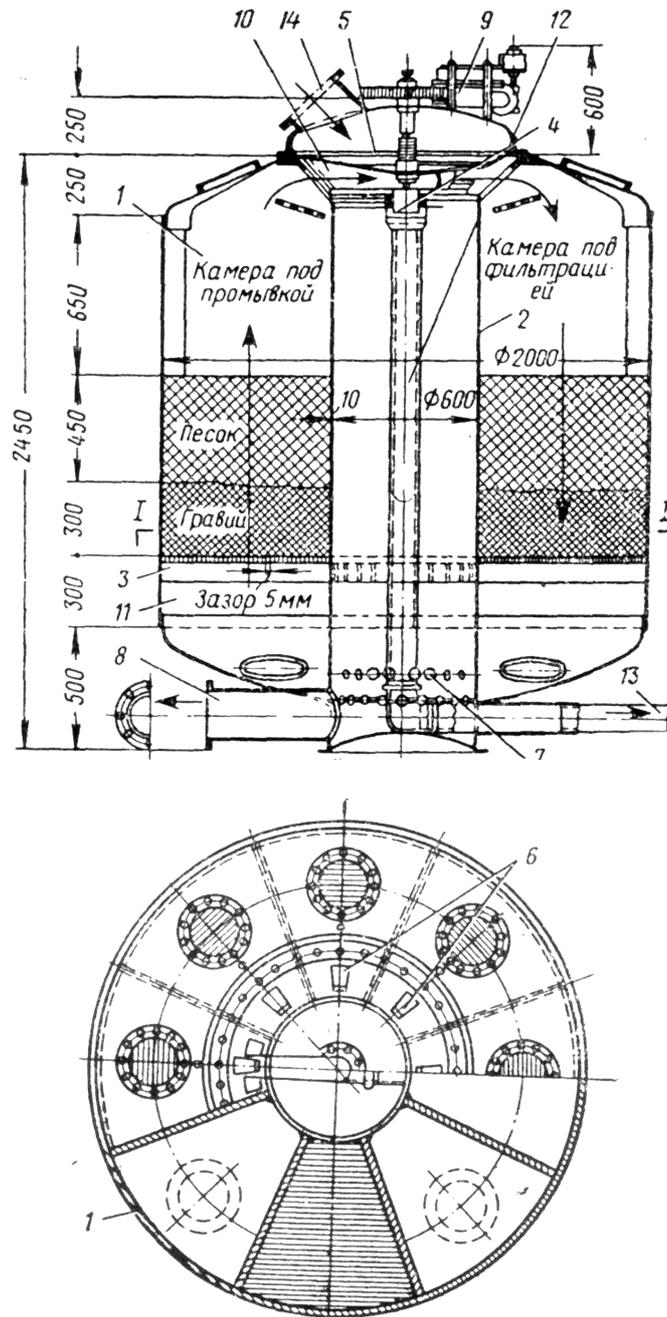


Рис. 7.16. Напорный сверхскоростной фильтр камерного типа: 1 – цилиндрический резервуар; 2 – цилиндрическая шахта; 3 – кольцевое дырчатое дно; 4 – подача осветляемой воды; 5 – распределительная камера; 6 – трапециевидные отверстия; 7 – отверстия для поступления воды из поддренажного пространства в шахту; 8 – подача воды потребителю; 9 – электродвигатель; 10 – патрубок; 11 – поддренажное пространство; 12 – трубопровод, соединенный с патрубком; 13 – спуск воды в канализацию; 14 – люк

7.11.7. Фильтры с плавающей загрузкой

Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) применяются сравнительно недавно и являются достаточно эффективными сооружениями по очистке природных, оборотных и сточных вод от гетерофазных примесей (рис. 7.17).

ФПЗ могут быть использованы как при строительстве новых фильтровальных станций, так и реконструкции существующих сооружений (путем переоборудования кварцевых фильтров, осветлителей со взвешенным осадком, отстойников). Производительность очистной станции при соответствующем обосновании может быть любой.

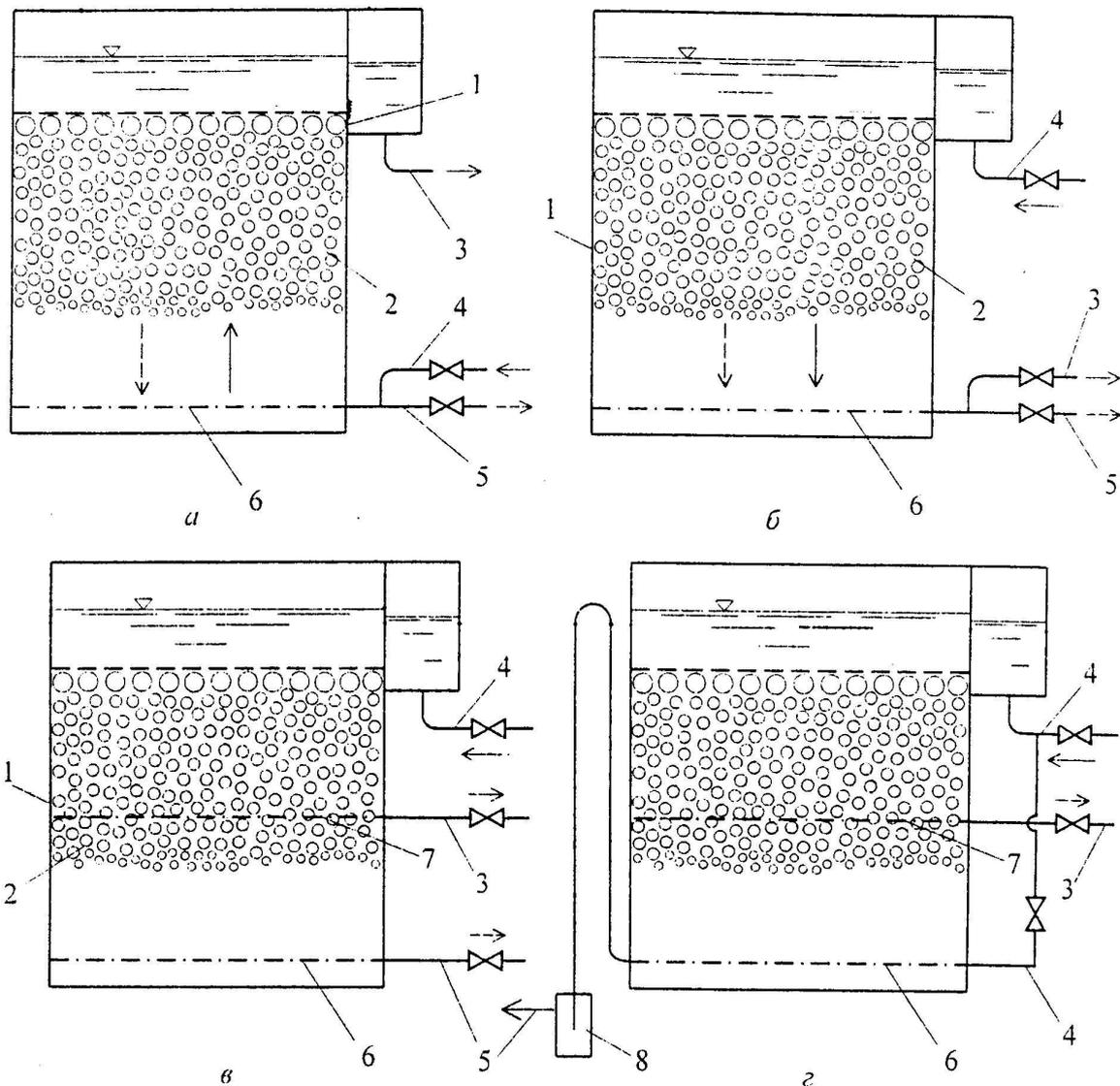


Рис. 7.17. Конструкции фильтров с плавающей загрузкой: *а* – ФПЗ-1; *б* – ФПЗ-3; *в* – ФПЗ-4, *г* – АФПЗ-М; 1 – корпус; 2 – фильтрующая загрузка; 3 – отвод фильтрата; 4 – подача исходной воды; 5 – отвод промывной воды; 6 – нижняя дренажная система (НДС); 7 – средняя дренажная система (СДС); 8 – система автоматики

Установлено [3, 12, 13], что в качестве плавающей фильтрующей загрузки наиболее рациональными являются гранулы вспененного полистирола, полученные в результате спекания, а также различные марки пенополистирола и шунгизита.

В последующем могут найти применение газонаполненные гранулы керамзита, котельные и металлургические шлаки, а также различные полимерные материалы, обладающие достаточной прочностью, химической стойкостью и пористостью.

Применение плавающих фильтрующих загрузок существенно меняет технологию фильтрования воды, позволяет увеличить допустимую по сравнению с кварцевыми фильтрами концентрацию взвеси в исходной воде и скорость фильтрования, значительно упростить регенерацию загрузки, отказаться от установки промывных насосов и специальных емкостей для промывной воды. М.Г. Журбой подтверждено, что гранулы полистирола обладают более высокими адгезионными и электрокинетическими свойствами по сравнению с зернами песка, что интенсифицирует процесс фильтрования в целом.

В настоящее время разработано свыше 100 конструкций фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой, отличающихся областью применения, технологическими возможностями, разнообразием конструктивных элементов, условиями размещения загрузки в корпусах. Работа некоторых из них (ФПЗ-1, ФПЗ-3, ФПЗ-4, АФПЗ-4) была изучена и испытана в процессе эксплуатации на действующих станциях.

Наиболее экономичными и простыми в эксплуатации являются фильтры с восходящим фильтрационным потоком и относительно однородной пенополистирольной загрузкой (ФПЗ-1) с диаметром гранул рабочего слоя 0,7...1,5 мм и поддерживающим верхним слоем, состоящим из гранул диаметром 2,5...6,0 мм.

Выбор конструкции ФПЗ следует производить в зависимости от фазово-дисперсного состояния примесей в обрабатываемой воде, назначения очистки и высотной технологической схемы станции.

Скорость фильтрования и продолжительность фильтроцикла уточняются в процессе эксплуатации фильтра.

При применении конструкций ФПЗ-3, ФПЗ-4, ФПЗ-5 в технологии очистки воды для хозяйственно-питьевого назначения с целью обеспечения высокой санитарной надежности регенерации загрузки предусматри-

вается устройство дополнительного трубопровода для подачи чистой воды в надфильтровое пространство.

Потери напора на ФПЗ следует принимать $\geq 1,5$ м при фильтровании по схеме сверху вниз и 2,0...2,5 м – при фильтровании снизу вверх.

Высота слоя воды над поверхностью загрузки во время фильтрования должна быть не менее 0,5 м, а к концу промывки – не менее 0,1 м. Требуемая высота слоя воды в надфильтровом пространстве, используемой для промывки, определяется расчетом.

Количество рабочих фильтров и блокирование секций надфильтрового пространства должно обосновываться технико-экономическим расчетом. Выключение одной секции ФПЗ на промывку допускает увеличение скорости фильтрования на 20 %. Температура очищаемой воды не должна превышать 50 °С (во избежание размягчения полимера).

Положительный результат работы ФПЗ был получен при очистке поверхностных природных вод от фито- и зоопланктона. При скорости фильтрования 4...7 м/ч достигается удаление из очищаемой воды на 90...95 % планктона при незначительных потерях напора.

В последнее время такие фильтры стали применяться в Республике Беларусь при обезжелезивании подземных вод (завод водоочистного оборудования УП «Полимерконструкция»).

Недостаток ФПЗ – сравнительно малые скорости фильтрования, следовательно, большие площади фильтров. Особенности промывки таких фильтров пока не позволяют эффективно отмывать плавающую загрузку от загрязнений.

ТЕМА 8. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ

8.1. Общие сведения по обеззараживанию воды

Обеззараживание воды осуществляется удалением и обезвреживанием содержащихся в ней болезнетворных бактерий, вирусов и спор и применяется, прежде всего, при подготовке воды хозяйственно-питьевого назначения. Частичное обеззараживание воды уже происходит во время ее отстаивания и фильтрации. Полное обеззараживание воды достигается различными специальными методами, которые можно классифицировать на три основные группы:

- химические (применение сильных окислителей);
- физические (применение ультразвука, ультрафиолетовых лучей, радиоактивного излучения, а также термический метод, замораживание и др.);
- олигодинамия (воздействие ионов благородных металлов).

В качестве окислителей применяют хлор и его производные (диоксид хлора, гипохлорит натрия и кальция, хлорная известь), озон, йод, марганцевокислый калий, пероксид водорода.

На практике в настоящее время широко применяются три способа обеззараживания воды: хлорирование, озонирование и бактерицидное излучение.

Положительным свойством хлора и его производных является их длительное бактерицидное воздействие на очищенную воду в водоводах и распределительной сети. Считают, что бактерицидная реакция хлора и его соединений носит физиологический характер. Хлор вступает во взаимодействие с протеинами и аминосоединениями оболочки и внутриклеточного вещества, вызывая распад структуры клеток бактерий и ферментов вирусов.

Бактериологическая активность различных хлорсодержащих реагентов определяется следующим рядом: хлорамин < хлорная известь < гипохлориты ≤ хлор ≤ диоксид хлора.

Эффект подавления бактериальной жизни при хлорировании зависит от дозы введенного хлора, продолжительности контакта его с водой, величины рН, температуры воды и др. Поэтому хлоропоглощаемость для одной и той же воды, которая равна расходу хлора на окисление микроорганизмов, органических и неорганических примесей, является переменной величиной (рис. 8.1).

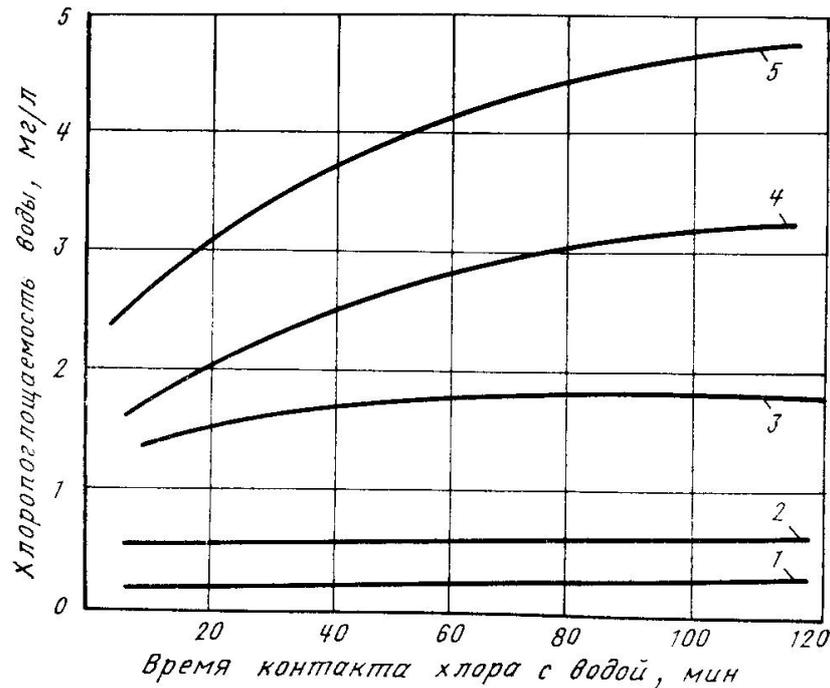


Рис. 8.1. Зависимость хлоропоглощаемости от времени контакта хлора с водой при его дозе (мг/л): 1 – 0,5; 2 – 0,75; 3 – 2,0; 4 – 4,0; 5 – 20,0

Очевидно, что доза вводимого хлора должна быть больше величины хлоропоглощаемости на величину остаточного хлора, присутствие которого является гарантией того, что окисление бактерий и органических веществ в воде практически завершено. Связь между дозой введенного в воду хлора и содержанием остаточного хлора может иметь прямолинейный характер или ярко выраженный излом (рис. 8.2).

Непрямолинейный характер этой зависимости имеет место при наличии в хлорируемой воде аммиака. Первая точка перелома на кривой (2) соответствует образованию монохлорамина NH_2Cl с меньшим, чем у хлора, окислительно-восстановительным потенциалом. Вторая переломная точка кривой соответствует моменту окисления образовавшегося монохлорамина избыточным хлором.

К недостаткам относительно простого метода обеззараживания воды жидким (газообразным) хлором можно отнести его пониженную инактивирующую способность по отношению к спорообразующим кишечным бактериям и вирусам, а также способность хлора вступать в реакцию с органическими веществами и образовывать побочные, токсичные для человека вещества, обладающие канцерогенной и мутагенной активностью.

Диоксид хлора (ClO_2) – газ, который содержит 90...95 % активного хлора, является дезинфицирующим средством, обладает следующими пре-

имуществами перед хлором: отсутствие в продуктах обработки хлорорганических соединений, высокая степень окисления, отсутствие необходимости перевозки на большие расстояния, поскольку изготовление его производят на месте. Диоксид хлора имеет более длительный период по времени бактерицидного действия (до 9...20 сут), чем хлор, и его действие не зависит от температуры, величины рН, наличия органических веществ (включая гуминовые вещества), содержания аммонийного азота в воде. К сожалению, бактерицидное воздействие диоксида хлора менее эффективно, чем хлора, и на сегодняшний день использование этого реагента затруднено из-за необходимости применения сложных в монтаже и эксплуатации установок, что особенно невыгодно на водоочистных сооружениях малой и средней производительности, которые составляют большинство.

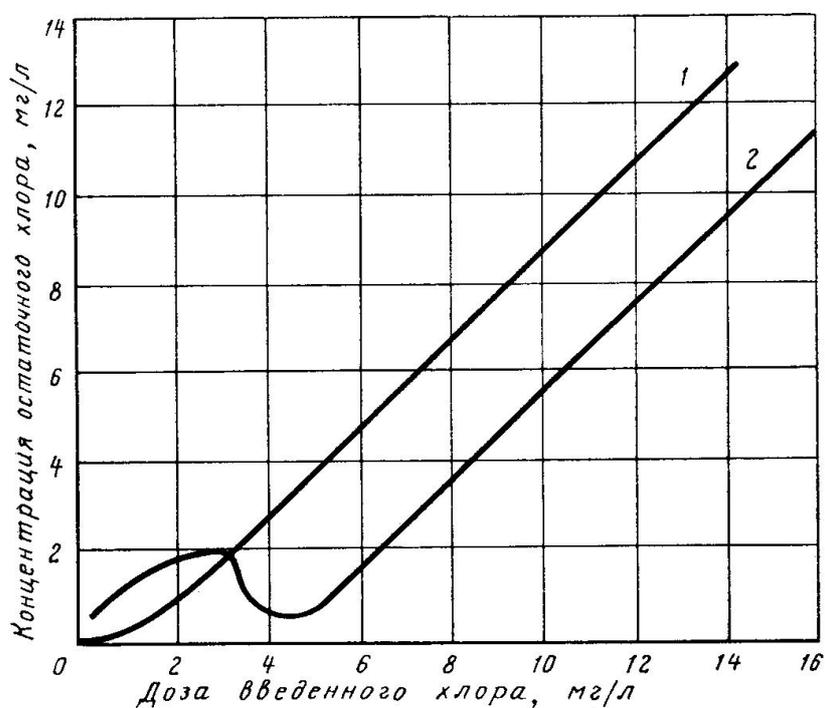


Рис. 8.2. Зависимость концентрации остаточного хлора от дозы введенного в воду при отсутствии (1) и при наличии (2) в воде аммонийных солей

Обеззараживание с помощью гипохлорита натрия (NaOCl) является одним из наиболее перспективных способов обеззараживания питьевых вод. Раствор NaOCl приготавливают на месте из привозного реагента (имеются примеры использования привозного реагента на водоочистных станциях Республики Беларусь производительностью 20...40 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$) или с помощью электролиза поваренной соли. Второй способ получения

раствора, к сожалению, ввиду сложности аппаратного содержания и эксплуатации пока применяют для небольших расходов воды.

Хлорная известь (CaOCl_2) – гранулированное твердое вещество с содержанием 25...30 % активного хлора; гигроскопичная вследствие содержания CaCl_2 и нестойкая из-за реакции гидролиза и распада под влиянием света и атмосферной углекислоты. Хранение допустимо только в стандартной неповрежденной упаковке, в закрытых складских, сухих, затемненных, хорошо вентилируемых помещениях при температуре воздуха не выше 20 °С. Следует отметить, что для обеззараживания воды хлорная известь применяется только при соответствующем обосновании, при этом ее использование технически просто, но дорого для крупных водоочистных комплексов.

Озон (O_3) не изменяет природные свойства воды, он быстро разлагается, превращаясь в кислород. Несомненным преимуществом озонирования является то, что одновременно с обеззараживанием происходит обесцвечивание воды, дезодорация и улучшение вкусовых качеств. Озон является сильным окислителем, он разрушает ферменты бактерий примерно в 20 раз быстрее хлора и еще более активен, чем хлор: вирусы и споровые формы бактерий уничтожает в 300...400 раз быстрее.

Озон, используемый для озонирования, получают из атмосферного воздуха в аппаратах, называемых озонаторами, в результате воздействия на него «тихого» электрического разряда, сопровождаемого выделением озона.

Чистый озон взрывоопасен, но он не взрывается, если его концентрация в озono-воздушной смеси не превышает 10 %. Озон токсичен и может поражать органы дыхания, поэтому ПДК озона в воздухе помещений, где находятся люди, должна быть не более 0,0001 мг/л.

Наряду с несомненными преимуществами озонирования этот метод не оказывает длительного бактерицидного воздействия на очищенную воду в водоводах и распределительной сети. Кроме того, получение озона происходит по сложной и дорогой технологической схеме (очистка, осушка и охлаждение воздуха перед поступлением в озонаторы) с большими затратами электроэнергии.

Бактерицидное излучение рекомендуется применять при условии: коли-индекс исходной воды должен быть не более 1000 кл/л, содержание железа – до 0,3 мг/л, мутность – до 2 мг/л. Метод бактерицидного облучения обеспечивает надежную дезинфекцию воды, и эксплуатационные затраты не превышают аналогичные на хлорирование. Обеззараживание воды бактерицидными лучами имеет ряд преимуществ перед окислителями. Вся

обрабатываемая вода проходит через камеры бактерицидной установки, где происходит облучение, при этом ее природные вкусовые качества и химические свойства 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, чем хлорного хозяйства.

Наиболее распространенными источниками бактерицидного излучения являются ртутно-кварцевые лампы высокого давления ПРК и аргонно-ртутные лампы низкого давления РКС-2,5.

Недостатком этого метода, как и для озонирования, является отсутствие длительного бактерицидного воздействия, а также жесткие ограничения по составу и концентрациям загрязнений облучаемой воды, например, он непригоден для обеззараживания мутных, цветных и окрашенных вод.

Нетрадиционные методы обеззараживания воды (кипячение, замораживание, серебрение) в основном нашли применение в быту и для специальных целевых назначений.

8.2. Обеззараживание воды жидким или газообразным хлором

Жидкий хлор (Cl_2) с содержанием активной части 96...98 % представляет собой маслянистую жидкость желто-зеленого цвета с удельной массой 1,43 кг/л и точкой кипения 33,6 °С, которая в свободном объеме и нормальных условиях испаряется в виде ядовитого вещества хлор-газа. Растворимость хлор-газа в воде при давлении 750 мм рт. ст. и температуре 18 °С составляет 9,65 г/л. При снижении температуры насыщенной хлором воды из нее выпадают кристаллы гидратов хлора $\text{Cl}_2 \cdot 7,3\text{H}_2\text{O}$.

Процесс обеззараживания воды при растворении в ней хлора определяется образованием хлорноватистой кислоты HOCl и гипохлорит-иона OCl^- (сильные окислители), а также иона Cl^- (более слабый окислитель), которые составляют свободный активный хлор, а их содержание зависит от величины рН воды. При величине рН воды 5...6 хлор присутствует в воде главным образом в виде хлорноватистой кислоты. С повышением рН более 6 концентрация гипохлорит-иона постепенно возрастает, достигая 21 % при рН = 7,0, 75 % – при рН = 8,0 и 97 % – при рН = 9,0.

Если в воде присутствуют соединения, с которыми хлор входит в контакт, то такие соединения называются связанными хлором, при этом различают вещества, отрицательно или положительно влияющие на качество воды. Например, наличие в воде фенола приводит к образованию хлорфе-

нольных соединений, которые имеют резкий неприятный запах и делают ее непригодной для питья. С другой стороны, если в хлорируемой воде присутствует аммонийный азот или азотосодержащие органические соединения (аминокислоты), свободный хлор вступает с ними во взаимодействие, образуя хлорамины (NH_2Cl , NH_3Cl и NH_4Cl). Это не сказывается на органолептических показателях воды, а хлор, присутствующий в воде в виде соединений с указанными веществами, рассматривают как связанный активный хлор.

Достоинства применения хлораминов в том, что они сохраняют длительное бактерицидное воздействие, препятствуют образованию отрицательных побочных соединений, поэтому в некоторых случаях специально вводят аммиак перед хлорированием для получения связанного активного хлора.

Оба вида хлора могут существовать в воде одновременно.

В связи с практически повсеместным антропогенным и техногенным загрязнением воды в поверхностных источниках на водоочистных станциях применяют одинарное или двойное хлорирование воды. В первом случае хлор вводят в воду большими дозами, контролируя остаточный хлор в резервуарах чистой воды и в точках водопотребления. Во втором случае хлор вводят в воду из поверхностного источника сначала перед смесителем (предварительное хлорирование) для снижения цветности, т.е. для окисления части органики, особенно растворимой в воде, вследствие чего улучшаются процессы коагуляции. Происходит также дезинфекция сооружений по обработке воды. Затем хлор вводят в фильтрованную воду перед резервуарами чистой воды для ее обеззараживания (постхлорирование воды).

Дозу хлора для предварительного хлорирования воды принимают равной $D_1 = 3 \dots 5$ мг/л, а последующего – $D_2 = 2 \dots 3$ мг/л.

Для подземных источников применяют хлорирование воды только для ее обеззараживания дозой $0,7 \dots 1,0$ мг/л.

В фильтрованной воде устойчивые к хлору патогенные бактерии и вирусы уже практически отсутствуют. Дозу хлора для обеззараживания воды принимают равной из расчета, чтобы в 1 л воды, поступающей к потребителю, оставалось $0,3 \dots 0,5$ мг хлора, не вступившего в реакцию.

Режим хлорирования в контактных камерах принимают следующим: доза активного хлора – 1 г/м^3 , время контакта – 30 мин до остаточного содержания активного хлора в питьевой воде $0,5 \dots 0,7 \text{ г/м}^3$.

Общий часовой расход хлора (кг/ч)

$$G_p = 1000^{-1}(D_1 + D_2)q_v,$$

где q_v – часовой расход воды в сутки максимального водопотребления, м³/ч.

При первичном хлорировании хлорная вода поступает в трубопровод исходной воды за 2...3 мин до ввода реагентов перед смесителем, а при вторичном хлорировании – в трубопровод очищенной воды перед резервуарами чистой воды, которые в данном случае играют роль контактных резервуаров.

Технология хлорирования заключается в приготовлении так называемой хлорной воды, которая получается путем подачи газообразного хлора в некоторое количество обработанной воды. Из баллонов, бочек или контейнеров, установленных на специальные контрольные весы, жидкий хлор перетекает в промежуточный баллон, где происходит его испарение и отделение загрязняющих примесей. Далее уже газообразный хлор проходит через фильтр со стекловатой для доочистки, понижающий давление редуктор и поступает в смеситель для приготовления хлорной воды, которая через эжектор окончательно подается в обрабатываемую воду.

Помещение, в котором получают хлорную воду, называют хлораторной. Оно примыкает к зданию реагентного хозяйства или фильтровальному залу, но должно быть изолировано от остальных, располагаться на первом этаже, иметь два отдельных входа (выхода), тамбур для размещения в нем спецодежды и противогазов и приточно-вытяжную вентиляцию. К работе допускаются специально обученные лица. В хлораторной должен храниться не менее чем трехдневный запас хлора, на общегородском складе ядовитых веществ запас должен быть не менее чем на 3 месяца. Для сравнительно малых количеств используемого хлора (расход хлора до 250 кг/сут) и расхода по обработанной воде до 50000 м³/сут хлораторную обычно объединяют в одно помещение вместе с производственными, но с отдельным выходом. В хлораторных устанавливают стальные бочки и вакуумные хлораторы. Если расход по обработанной воде свыше 50000 м³/сут – хлораторную устраивают в отдельном здании. При этом устраиваются отдельные помещения для собственно хлораторной (здесь же складировается хлор в бочках или контейнерах) и хлордозаторной.

Расчет хлораторной установки состоит в определении часовой потребности хлора, количества рабочих и запасных хлораторов, числа потребных баллонов или бочек. Эффект обеззараживания – 99,9 %, удельный расход электроэнергии на 1 кг активного хлора – 7...10 кВт·ч/кг, расход

воды на эжектор – 5...10 м³/ч, минимальное давление перед эжектором – 1,5 кгс/см², смешение с основным потоком воды производится в РЧВ.

Разработаны проекты типовых хлораторных установок производительностью 2; 5; 12,5; 25 и 50 кг хлора в час. Хлораторные установки производительностью более 50 кг/ч проектируются по отдельным индивидуальным проектам.

Жидкий хлор в зависимости от его расхода на водоочистных сооружениях доставляют в баллонах, тенках или железнодорожных цистернах.

Для станций с расходом хлора более 15 кг/ч (производительность по воде более 60 тыс. м³/сут) жидкий хлор доставляют железнодорожным путем и предусматривают установку для его перелива из цистерны. Жидкий хлор из железнодорожных цистерн перекачивают компрессорами ВК-25 в автоматическом режиме с давлением 2...3 кгс/см² в тенки, а затем в сосуд мерник. Из него жидкий хлор по стальным трубопроводам поступает в испарители, откуда хлор-газ по наземным (преимущественно) или стальным подземным хлоропроводам (диаметром 57 мм с толщиной стенки 6 мм) поступает в хлораторные помещения, в которых получают хлорную воду и осуществляют ее дозирование хлораторами и смешение с обрабатываемой водой. Современные системы регулирования и контроля процесса обеззараживания воды полностью автоматизированы.

На водоочистные сооружения малой и средней производительности жидкий хлор доставляют в баллонах, контейнерах или тенках, которые устанавливают в хлораторных из расчета на 2...3 суток работы. Запас хлора на 2...3 месяца работы хранят на местном складе ядовитых веществ.

Для превращения жидкого хлора в его газообразный вид применяют два вида испарителей: проточные змеевиковые, находящиеся на расходных складах, и емкостные, находящиеся в хлораторных на очистных сооружениях. С одного стандартного баллона при температуре 18 °С можно получить 0,5...0,7 кг/ч хлор-газа. При обогреве баллонов теплой водой или воздухом температурой 20...30 °С эту величину можно повысить до 1 кг/ч. Для станций большой производительности применяют бочки, с которых сьем хлор-газа составляет около 3 кг/ч.

Дозирование в воду хлора осуществляют хлораторами, главным образом вакуумного типа (рис. 8.3). Контроль дозирования хлора осуществляют автоматическими системами.

Количество хлораторов предусматривают не менее двух (плюс 50 % резервных от числа действующих хлораторов), т.е. при 1...2 рабочих – 1 ре-

зервный, 3...4 рабочих – 2 резервных и т.д. Допускается принимать общие резервные хлораторы для первичного и вторичного хлорирования.

Из комбинированных методов хлорирования воды наибольшее распространение получила предварительная аммонизация (преаммонизация), которая применяется, когда в воде имеются различные ароматические соединения (бензол, фенол и др.), чтобы связать хлор и избежать образования нежелательных хлорсодержащих соединений в воде, или для обеспечения более длительного контакта воды с дезинфектантом (хлораминами) в водораспределительной сети (постаммонизация).

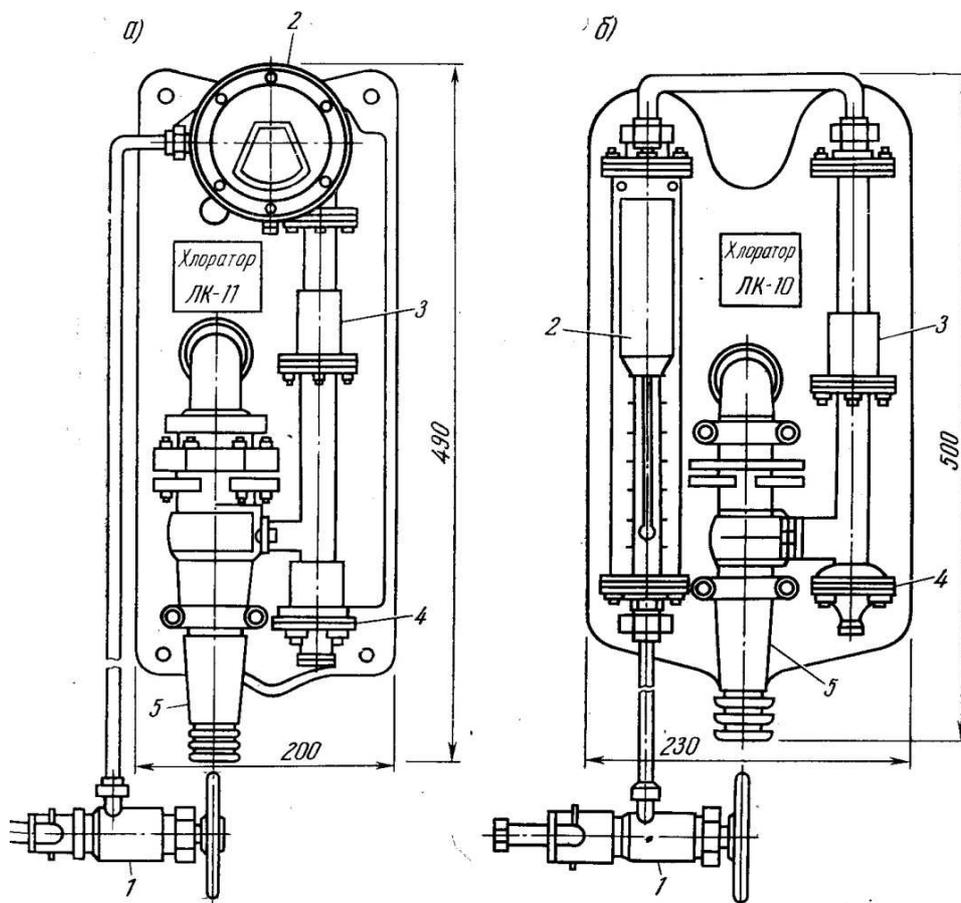


Рис. 8.3. Вакуумные хлораторы системы Л.А. Кульского: ЛК-11 (а) и ЛК-10 (б); 1 – микровентиль для дозирования хлора; 2 – ротационный измеритель хлора – газа; 3, 4 – водяной и газовый клапан; 5 – водоструйный насос

Введение аммиака сокращает расход хлора, а также улучшает вкус воды. Соотношение доз хлора и аммиака зависит от качества исходной воды.

$$D_{\text{NH}_3} = 0,3 \cdot D_{\text{Cl}}, \text{ мг/л.}$$

Расчет аммонизаторной производится аналогично хлораторной. Оборудование такое же, но раствор NH_3 является более агрессивным веществом,

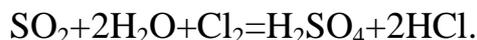
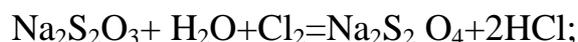
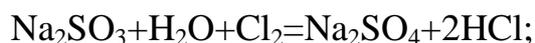
чем раствор Cl_2 , поэтому предъявляются более высокие требования по вентиляции, а трубопроводы изготавливаются из нержавеющей стали или стекла.

Жидкий аммиак поставляют в баллонах или бочках. Аммиак испаряется труднее, чем хлор, съём с одного баллона (без подогрева) – не более 200 г/ч. В случае применения газообразного аммиака растворение его в обрабатываемой воде осуществляется при помощи аммонизаторов, по своему устройству аналогичных хлораторам типа ЛОНИИ-СТО или ЛК. Ввод аммиачного раствора производят в фильтрат, например, при наличии фенолов – за 2...3 мин до ввода хлора.

В некоторых случаях на очистных станциях поверхностных вод при высокой цветности воды производят одноразовое хлорирование большими дозами – 10...15 мг/л. С одной стороны, повышается эффективность коагуляции воды со значительным снижением ее цветности (до 40...60°), с другой, – хлор оказывает дезинфицирующее воздействие на сооружения по обработке воды. Но наряду с положительными моментами есть и отрицательные: в зданиях сооружений по обработке воды может быть резкий неприятный запах хлора, а в воде РЧВ – его большие остаточные концентрации, порядка 1...3 мг/л, что также является причиной неприятного запаха в обработанной воде.

Излишек хлора, превышающий допустимую его концентрацию в воде (обычно 0,5 мг/л), удаляют дехлорированием химическими методами или фильтрованием через активированные угли.

Наибольшее распространение получила обработка воды сульфитом натрия Na_2SO_3 , тиосульфитом $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и сернистым газом SO_2 . Реакции дехлорирования воды выражаются уравнениями:



На каждый миллиграмм хлора расходуется 3,5 мг сульфита натрия или 0,5...0,8 мг сернистого газа. Применение его в технике удобно благодаря дешевизне и возможности дозирования из баллонов или бочек при помощи обычной хлораторной установки.

Для десорбции хлора используются скорые фильтры с загрузкой из активированных углей АГ-3, АГ-5, которые являются отличным сорбентом для хлорных соединений. Высота загрузки принимается 1,5...2 м, скорость фильтрования – до 30 м/ч. Т.к. на фильтрование поступает чистая вода, соответствующая по мутности и цветности нормативным показателям для

хозяйственно-питьевого назначения, то рост потерь напора происходит незначительно, и фильтроцикл определяется, прежде всего, расчетом исходя из сорбционных свойств применяемых углей. По окончании фильтроцикла выгружается определенное количество угля (обычно 20...30 %) и заменяется свежим, который загружается в замоченном состоянии, после этого происходит отмывка всей загрузки от пылевидных частиц угля, и фильтр вновь включается в работу.

8.3. Применение гипохлоритов натрия и кальция для обеззараживания воды

Необходимость соблюдения особых мер предосторожности при транспортировке и хранении токсичного хлора является недостатком метода хлорирования воды. Этот недостаток особенно ощутим в Республике Беларусь, когда хлор приходится перевозить на большие расстояния от заводов-поставщиков. Опасность утечки хлора на базисных складах водоочистных комплексов, расположенных вблизи населенных пунктов, во многих случаях препятствует применению этого метода обеззараживания воды. Кроме того, при введении хлора в воду могут образовываться группы галогенных соединений, которые отрицательно влияют на организм человека.

Применение гипохлоритов натрия и кальция (первый вид предпочтителен) устраняет эти недостатки. Они используются на водопроводных станциях любой производительности как более активные, чем хлор, в отношении вирусов; являются дезинфектантами; малотоксичные (IV класс токсичности); безопасные и более простые в эксплуатации. Они не взаимодействуют с аммонийным азотом, оставаясь в форме свободного хлора; обеспечивают более глубокое обеззараживание воды и упрощают контроль остаточного хлора.

Ввод растворов данных реагентов в воду может производиться по двум технологическим схемам: с использованием привозного (товарного) продукта и получением этого продукта на месте путем электролиза насыщенного раствора NaCl (на станциях малой и средней производительности).

По первому способу реагент поступает на водоочистную станцию, его приготавливают в затворном баке с мешалкой в виде концентрированного раствора (10 %), разбавляют очищенной водой до концентрации активного хлора 0,5...2,0 % в растворном баке, осветляют на фильтре с кварцевой загрузкой. Дозируют раствор реагента с помощью насоса-дозатора типа НД в трубопровод фильтрата с постоянным контролем остаточной

концентрации активного хлора в воде РЧВ. Характеристика поставляемых реагентов следующая.

Товарный гипохлорит натрия (NaOCl) – прозрачная жидкость зеленоватого цвета, не содержащая взвешенных частиц. Поступает в гуммированных цистернах (6 т). Содержание активного хлора – 100...185 г/л, щелочи в пересчете на NaOH – 10...20 г/л, железа общего – не более 0,07 г/л. Основной побочный продукт – NaOH (85 – 87 %).

Гипохлорит кальция $3\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – гранулированное твердое вещество, содержащее от 30...45 до 54...72 % активного хлора при наличии примесей NaCl (10...16 %), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (6...10 %), CaCO_3 (2 %). Содержание активного хлора в продукте снижается при хранении на 3...5 % в год. Дезинфицирующая способность гипохлорита кальция эквивалентна гипохлориту натрия. Он имеет те же эксплуатационные преимущества. Представляет собой белый кристаллический порошок влажностью не более 2 %. Поставляют и хранят его в таре. Реагент выпускается в трех видах: гипохлорит кальция (хлорноватистый кислый кальций) нейтральный марки А, который содержит активного хлора не менее 72,0 % (высший сорт), 64 % (первый сорт) и 52,0 % (второй сорт).

Следует отметить, что применение привозного товарного продукта является более дорогим способом, чем хлорирование и приготовление гипохлоритов на месте, поэтому их использование должно быть обоснованным. Например, для станции обезжелезивания ($Q \leq 40000 \text{ м}^3/\text{сут}$) г. Новополюцка из-за отсутствия свободного места ввиду плотности комплексной жилой застройки было определено, что данный метод является наиболее целесообразным.

Одним из наиболее перспективных способов обеззараживания питьевых вод на водоочистных комплексах (особенно с суточным расходом хлора до 50 кг) является использование гипохлорита натрия (NaOCl), получаемого на месте потребления путем электролиза растворов поваренной соли или минерализованных вод, содержащих не менее 20 мг/л хлоридов (установка «Поток»). Электрохимический способ получения гипохлорита натрия основан на получении хлора и его взаимодействии со щелочью в одном и том же аппарате – электролизере.

В настоящее время в России серийно выпускается унифицированный ряд непроточных электролизных установок типа ЭН производительностью от 1 до 100 кг активного хлора в сутки. Для небольших водоочистных установок рекомендуются электролизеры ВИЭСХ (0,1...0,2 кг/сут хлора), а также электролизеры ЭН-1 и ЭН-5 производительностью 1 и 5 кг активного хлора в сутки. При необходимости можно осуществлять централи-

зованное получение гипохлорита натрия на одном из пунктов с последующей доставкой его к отдельным потребителям. В этом случае могут применяться установки ЭН-25 или ЭН-100 производительностью 25 и 100 кг активного хлора в сутки. Количество электролизеров принимается не более трех, из которых один резервный.

Электролизная установка непроточного типа (рис. 8.4) состоит из следующих основных узлов: бака для растворения соли, электролизера с зонтом вытяжной вентиляции, бака-накопителя гипохлорита натрия, выпрямительного агрегата и элементов автоматики. Она работает следующим образом. В растворный бак загружают поваренную соль, заливают воду и с помощью насоса перемешивают до получения насыщенного (280...300 г/л) раствора поваренной соли. Затем раствор с помощью насоса передают в электролизер, где разбавляют водопроводной водой до рабочей концентрации (100...120 мг/л). Готовый раствор гипохлорита натрия сливают в бак-накопитель, откуда дозируют в обрабатываемую воду.

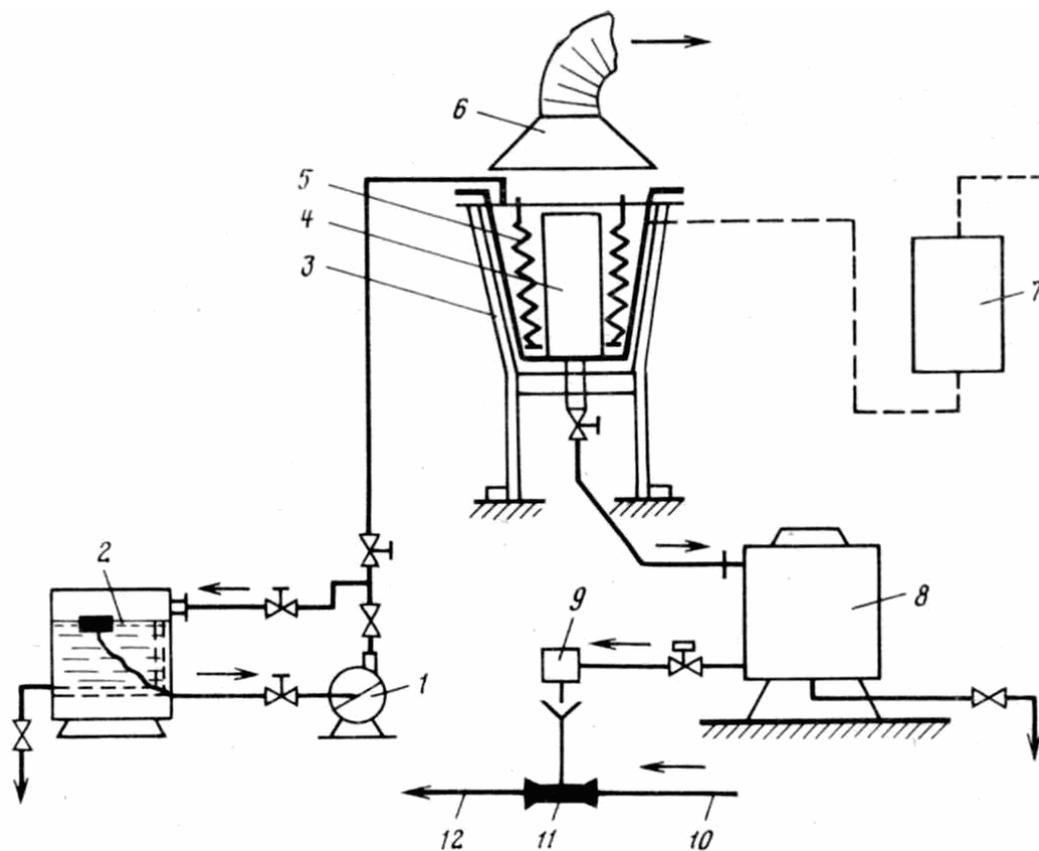


Рис. 8.4. Электролизная установка непроточного типа ЭН-1: 1 – насос; 2 – растворный бак соли; 4 – кассета с графитовыми электродами; 5 – трубки холодильников; 7 – блок автоматики; 3 – электролизер; 6 – зонт вытяжной вентиляции; 8 – бак-накопитель гипохлорита натрия; 9 – дозатор; 10, 12 – подача и отвод воды к эжектору и от эжектора 11

Электролизеры рекомендуется устанавливать в отдельном помещении. Допускается совместное расположение в одном помещении электролизера и бака-накопителя гипохлорита натрия. Раствор гипохлорита натрия должен поступать в бак-накопитель самотеком, для чего перепад высот между сливным патрубком электролизера и баком-накопителем должен быть не менее 0,1 ... 0,2 м.

Обеззараживание воды на установках производительностью до 5 тыс. м³/сут может быть достигнуто прямым ее электролизом при исходном содержании хлоридов не менее 20 мг/л и жесткости до 7 мг-экв/л в два этапа: электрохимическое получение окислителей и их смешивание с обеззараживаемой водой. Эффективность прямого электролиза зависит от вида применяемого анода, оптимальны платино-титановые аноды (ПТА) и окисно-рутениевые аноды (ОРТА).

Отечественная промышленность серийно выпускает установки прямого электролиза «Поток» с анодами из диоксида рутения и катодами из титана, которые чередуются с зазором между пластинами 3 мм. Установка состоит из электролизера, блока питания и замкнутого кислотного контура. Электролизер выполнен в форме параллелепипеда, внутри которого находится пакет электродов. Кислотный контур предназначен для периодической промывки аппарата 3...5 %-ным раствором кислоты для борьбы с катодным солеотложением. При одноразовом проходе под давлением обрабатываемой воды снизу вверх в межэлектродном пространстве электролизера обеспечивается ее обеззараживание, величина остаточного хлора в воде через 30 мин контакта составляет 0,3 ... 0,5 мг/л. В табл. 8.1 приведены параметры работы установки «Поток».

Таблица 8.1

Характеристики работы установки «Поток»

Параметры	Значения параметров при содержании хлоридов в исходной воде, мг/л		
	20...50	50...100	100...200
Доза хлора, г/м ³	1	1	1
Производительность, м ³ /ч, при коэффициенте выхода хлора по току:			
0,2	5...7	8...10	9...11
0,4	8...9	11...13	14...16
0,6	11...12	15...17	20...23
0,8	14...16	20...24	28...32
Напряжение, В	8...11	6...8	4...6
Анодная плотность тока, А/м ²		80...100	
Межэлектродное расстояние, мм		3...5	

8.4. Озонирование воды

Одним из наиболее сильных окислителей, уничтожающих бактерии, споры и вирусы (в частности, вирусы полиомиелита), является озон.

В ряде случаев озонирование является универсальным методом водообработки. Зарубежный и отечественный опыт применения озона в водоподготовке загрязненных поверхностных и подземных вод свидетельствует о его комплексном воздействии на очищаемую воду, т.е. одновременно с обеззараживанием происходит и обесцвечивание воды.

При предварительном озонировании озон, прежде всего, расходуется на удаление органических и неорганических веществ, а затем затрачивается на дезинфекцию воды.

Озон очень сильный окислитель, его окислительный потенциал составляет 2,06 В. Патогенные микроорганизмы уничтожаются им быстрее в 15...20 раз, а споровые формы бактерий – в 300...600 раз, чем хлором. Механизм обеззараживания воды озоном основан на его способности инактивировать сложные органические вещества белковой природы, содержащиеся в животных и растительных организмах.

Чистый озон взрывоопасен, он не взрывается, если его концентрация в озono-воздушной смеси не превышает 10 %, т. е. 140 г/м³. Озон токсичен и может поражать органы дыхания. ПДК озона в воздухе помещений, где находятся люди, – не более 0,0001 мг/л. Поэтому для обработки используется собственно озono-воздушная смесь с содержанием озона до 20 г О₃/м³ и коэффициентом использования озона – не менее 0,9.

Несомненным преимуществом озонирования воды является и то, что при этом происходит ее дезодорация и улучшение вкусовых качеств. Озон не изменяет природные свойства воды, так как его избыток за несколько минут превращается в кислород.

Метод озонирования целесообразно применять для обеззараживания любых расходов очищенных поверхностных, подрусовых и подземных вод, которые могут быть загрязнены устойчивыми к инактивации видами патогенных спорообразующих бактерий и энтеровирусов. Т.е вода должна пройти глубокое предварительное обесцвечивание (8...10°) и осветление (до 1,5 мг/л). Суммарное количество железа и марганца должно быть не более 0,1 мг/л, коли-индекс – не более 1000 кл/л, ОМЧ – не более 10 кл/см³.

При обработке воды из поверхностных источников, как и при хлорировании, часто принимают ее двойное озонирование. Для улучшения протекания процессов осветления и обесцвечивания воды производят ее предварительное (пред) озонирование дозой до 15 мг/л. Последующее (пост) озонирование предназначено для ее дезинфекции. Для обеззараживания

воды доза озона изменяется в соответствии с ее температурой и рН, а также содержанием в ней органических веществ.

При средней загрязненности исходной воды по органическим веществам, соответствующей величине перманганатной окисляемости менее 8 мг O_2 /л, требуемая доза озона равна 2 мг O_3 /л. При окисляемости около 10 мг O_2 /л – 3 мг O_3 /л. Дозы 4...5 мг O_3 /л необходимы при поступлении в воду залповых загрязнений по органическим веществам, равных 15...20 мг O_2 /л, считая по перманганатной окисляемости.

Доза озона на стадии дезинфекции обработанной воды составляет 0,75...1,0 г O_3 /м³ зимой и 4...6 г O_3 /м³ летом. Продолжительность контакта 4...12 мин.

На стадии обеззараживания значение произведения величины дозы озона C , в мг/л, на время контакта T , мин, обычно принимают равным 1,6 (например, поддержание остаточной концентрации озона $C = 0,4$ мг/л в течение 4 мин). Консервирующую дозу хлора принимают не более 1,2 г/м³.

Общая продолжительность контакта с обрабатываемой водой при величине остаточного озона 0,3...0,4 мг O_3 /л составляет 5...20 мин. Эффект обеззараживания по патогенным бактериям и вирусам, включая наиболее устойчивые вирусы гепатита и полиомиелита, составляет 99,9...100 %.

Основным недостатком озонирования воды является то, что O_3 , хотя и является очень сильным обеззараживающим агентом, использование его на конечной стадии водоподготовки не исключает последующего риска повторного загрязнения микроорганизмами. Так, остаточный O_3 в количестве 0,4 мг/л после первичного озонирования разлагается менее чем за 1 ч. Время разложения остаточного озона в воде, прошедшей дезинфекцию, составляет менее 20 мин.

Скорость разложения озона увеличивается при повышении рН, температуры и степени минерализации воды. Это может привести к тому, что в очищенной воде после разложения озона будет наблюдаться усиление активности бактерий и рост их числа в протяженных водоводах и распределительных сетях. Кроме этого, данный метод является высокоэнергоемким и достаточно дорогим по сравнению с обычным хлорированием. Ввиду дороговизны указанного метода на предварительном этапе вместо озонирования может использоваться хлорирование.

Озонаторная установка может работать на атмосферном воздухе или жидком техническом кислороде. В первом случае установка включает: блок осушки и подготовки воздуха, воздушный компрессор, генератор озона, блок водяного охлаждения генераторов, реактор, повышающий трансформатор, пульт управления, блок контроля озono-воздушной смеси (рис. 8.5).

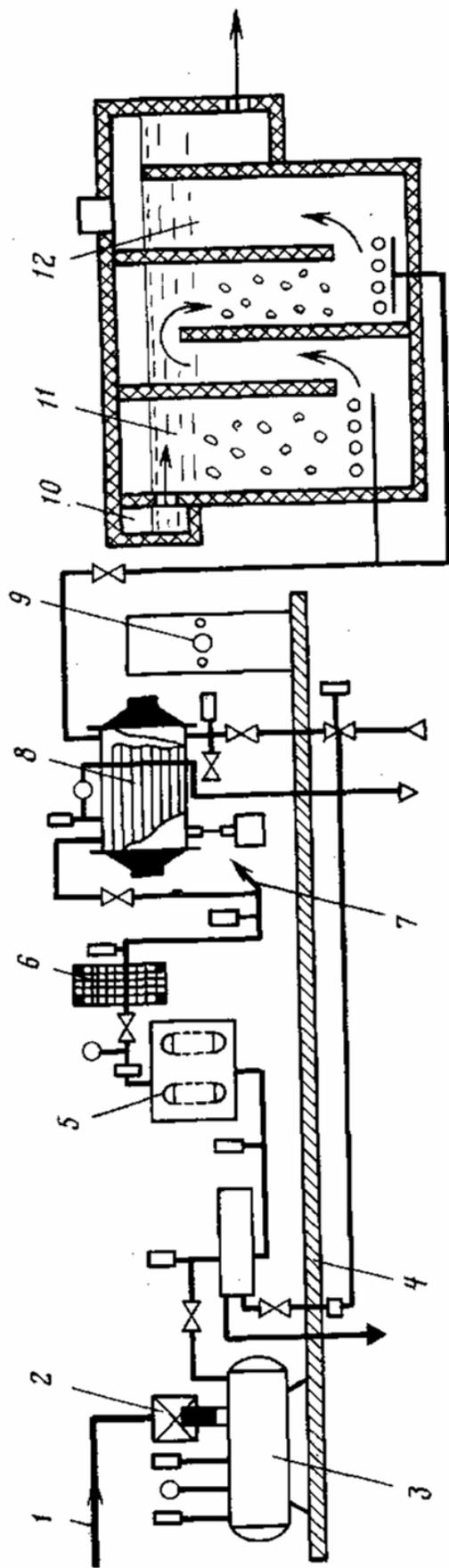


Рис. 8.5. Схема работы озонагорной станции: подача воды; 2 – воздушный фильтр; 3 – теплообменник; 4 – водомаслоотделитель; 5 – сорбционные фильтры с ГАУ; 6 – адсорбер с силикагелем; 7 – тканевый фильтр; 8 – озонагор; 9 – блок автоматики; 10 и 12 – подача и отвод обрабатываемой воды; 11 – контактная камера

Работа установки автоматизирована. Во втором случае исключается блок подготовки и осушки воздуха.

Озон O_3 (точнее – озono-воздушная смесь) получают из атмосферного воздуха в аппаратах, называемых озонаторами или генераторами, в результате воздействия на него «тихого» (т.е. рассеянного без искр) электрического заряда, сопровождающегося выделением озона.

Озонаторный генератор представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат (вариант) с внутренними трубами из нержавеющей стали (по типу теплообменника). Внутри каждой стальной трубы помещена стеклянная трубка с небольшой (2...3 мм) воздушной кольцевой прослойкой, которая является разрядным пространством. Внутренняя поверхность трубок покрыта графитомедным (или алюминиевым) материалом. Стальные трубы являются одним, а покрытия на внутренних стенках стеклянных трубок – другим электродом. При прохождении электрического тока напряжением 8 ... 10 кВ образуется озono-воздушная смесь. При этом стеклянные трубки являются диэлектрическим барьером, благодаря чему разряд получается «тихим», т. е. рассеянным без образования искр. Следует отметить, что до 90 % электроэнергии превращается в теплоту, которую отводит от озонатора циркулирующая в межтрубном пространстве аппарата охлаждающая вода.

Подача в озонаторы кислорода увеличивает выход озона в 2...2,5 раза по сравнению с подачей воздуха, но требует строительства установок для получения кислорода.

Воздух, используемый в озонаторах, должен быть предварительно освобожден от влаги и пыли. Даже следы влаги, попадая в разрядное пространство аппарата, вызывают появление искрового разряда, который значительно снижает показатели работы озонатора. По сравнению с подачей сухого воздуха уменьшается выход озона (примерно в 4 раза) с пропорциональным увеличением расхода электроэнергии. Присутствие следов влаги делает озон весьма агрессивным к деталям озонатора, трубам и арматуре. Для извлечения пыли воздух пропускают через матерчатые фильтры специальных конструкций, а для удаления влаги устанавливают адсорберы, загружаемые обычно силикагелем. При сушке воздуха выделяется теплота. Чтобы в озонатор не попал слишком теплый воздух, его подвергают охлаждению.

С этой целью воздух пропускают через теплообменник либо охлаждают в самом адсорбере путем подачи воды через змеевик, располагаемый непосредственно в силикагеле.

Российская промышленность выпускает низкочастотные (50...200 Гц) озонаторы, работающие на токе промышленной частоты, и высокочастотные (400...10000 Гц) – более компактные и менее металлоемкие. Завод «Курганхиммаш» выпускает серийно генераторы ОП-1...6 производительностью по озону до 8 кг/ч, РГО-1 производительностью по озону до 10 кг/ч и высокочастотные «Озон-10» производительностью также 10 кг/ч, «Озон-1,5» и «Озон-4» – соответственно 1,5 и 4 кг/ч (частота 2500 Гц).

Озон (озоно-воздушную смесь) вводят в воду либо через эжекторы (эмульгаторы), либо через сеть пористых труб в специальных контактных камерах (рис. 8.6). Старые конструкции контактных камер предусматривали устройство распределительных каналов, укладываемых по дну контактного резервуара с перекрытием их фильтросными пластинами.

Расчет производительности озонаторной установки производят по суммарной дозе озона на указанных стадиях обработки и расчетному часовому расходу озонируемой воды [12, 24, 25].

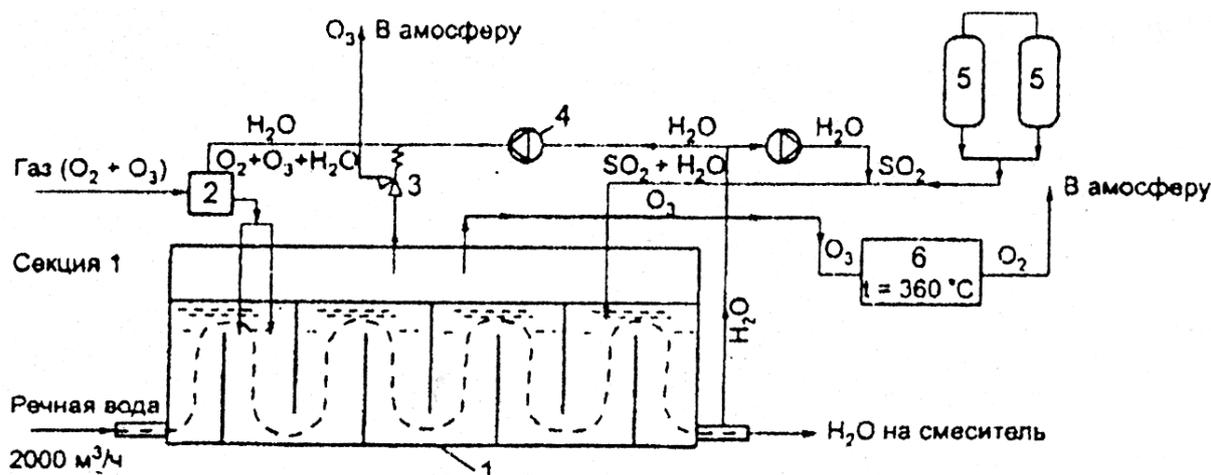


Рис. 8.6. Технологическая схема работы контактной камеры: 1 – контактная камера; 2 – радиальный диффузор; 3 – предохранительный клапан; 4 – насос; 5 – емкости с сернистым ангидридом; 6 – деструктор

8.5. Бактерицидное облучение воды

Для обеззараживания природных вод рекомендуется применять бактерицидное излучение при условии, если коли-индекс воды не более 1000 кл на 1 л, содержание железа – до 0,3 мг/л, мутность – до 2 мг/л. 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, чем хлорного хозяйства.

Наибольшим бактерицидным эффектом обладают ультрафиолетовые лучи с длиной волны 240...290 мкм. Эту область ультрафиолетового излучения называют бактерицидной. Максимум бактерицидного действия располагается около длины волны в 260 мкм. Процесс отмирания бактерий описывается уравнением

$$P = P_0 \exp(-Et/k),$$

где P – число бактерий в единице объема, оставшихся живыми после бактерицидного облучения; P_0 – начальное число бактерий в единице объема; E – интенсивность потока бактерицидных лучей; t – экспозиция облучения; k – коэффициент сопротивляемости бактерий, мк·Вт·с/м².

Бактерии и вирусы, находящиеся в воде, имеют различную степень сопротивляемости действию бактерицидных лучей, т.е. значение коэффициента k зависит от вида бактерий. Коэффициент сопротивляемости различных видов вегетативных и патогенных бактерий практически не превышает коэффициента сопротивляемости бактерий *Coli*, равного приблизительно 2500, что и принимают при расчетах необходимого количества бактерицидной энергии для обеззараживания. При этом эффект обеззараживания воды, характеризуемый отношением P/P_0 , подсчитывают по отмиранию бактерий *Coli*. Он зависит от количества затрачиваемой бактерицидной энергии (Et), т.е. один и тот же эффект может быть получен при малой интенсивности облучения, но большой экспозиции и наоборот, при большой интенсивности облучения и малой продолжительности контакта.

При определении необходимого количества бактерицидной энергии следует учитывать ее поглощение при прохождении потока лучей через слой воды: для бесцветных, не требующих обезжелезивания подземных вод, получаемых с артезианских горизонтов, – 0,1 см⁻¹; для родниковой, грунтовой, подрусловой и инфильтрационной воды – 0,15 см⁻¹; для воды поверхностных источников водоснабжения, прошедшей очистку на очистных сооружениях, – 0,2...0,3 см⁻¹. В последнем случае рекомендуемое значение коэффициента поглощения принято с запасом с учетом возможных случайных отклонений показателей качества воды по мутности и цветно-

сти от нормативных требований. В.Ф. Соколов предложил расчетную формулу, которую применяют при проектировании установок для обеззараживания воды бактерицидными лучами:

$$F_p = \frac{q\alpha k \lg(\rho/\rho_0)}{1563,4\eta_0\eta_n},$$

где F_p – расчетный поток бактерицидной энергии, Вт; q – расход обеззараживаемой воды, м³/ч; α – коэффициент поглощения, см⁻¹; k – коэффициент сопротивляемости бактерий, принимаемый равным 2500 мк·Вт·с/м ρ_0 – коли-индекс воды до облучения; ρ – коли-индекс воды после облучения, принимаемый не более 3; η_0 – коэффициент использования бактерицидного потока, учитывающий поглощение лучей в слое воды, принимаемый 0,9; η_n – коэффициент использования бактерицидного потока, зависящий от типа аппарата, для предварительных расчетов он может быть принят равным 0,9.

Необходимое количество бактерицидных ламп N определяют по формуле $N = F_p/F_l$, где F_l – расчетный бактерицидный поток каждой лампы (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Основные рабочие характеристики бактерицидных ламп

Тип лампы	Бактерицидный поток, Вт	Потребляемая мощность, Вт
УВ-30	2	30
БУВ-60П	6,5	60
ПРК-7	35	1000
РКС-2,5	–	6000

Распространенными источниками бактерицидного излучения являются ртутно-кварцевые лампы высокого давления ПРК и аргонно-ртутные лампы низкого давления РКС-2,5. Ртутно-кварцевые лампы высокого давления (0,05...0,1 МПа) с температурой оболочки при горении лампы до 250...2000 °С являются мощными источниками видимого света и ультрафиолетовых лучей с максимумом излучения 365,0...3666,3 мкм. Указанные в табл. 8.2 основные расчетные параметры ртутно-кварцевых и аргонно-ртутных ламп относятся к концу расчетного срока их службы, т.е. после 4500...5000 ч горения. Бактерицидный поток новых ламп на 30 % выше.

Небольшая мощность аргонно-ртутных ламп, их экономичность позволяют применять их в установках небольшой производительности. Ртутно-кварцевые лампы высокого давления, хотя и менее экономичные, чем аргонно-ртутные, применяют для обеззараживания большого количества воды с незначительным бактериальным загрязнением, так как это более экономично по сравнению с хлорированием. В отечественной практике применяют несколько типов установок для обеззараживания воды бактерицидными лучами, разработанных в НИИ КВОВ Академии коммунального хозяйства (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Технические характеристики бактерицидных установок

Тип установки	Производительность, м ³ /ч	Предельное давление, МПа	Тип и число ламп	Мощность, потребляемая установкой, кВт	Завод-изготовитель
ОВ-1П	3	0,5	БУВ-60П 1 шт.	0,06	Машиностроительный завод (г. Сергиев Посад)
ОВ-АКХ двухкамерная	60	0,5	ПРК-7м 2 шт.	2	Вяземский машиностроительный завод
ОВ-АКХ трехкамерная	90	0,5	ПРК-7м 3 шт.	3	То же
ОВ-1П-РКС	50-70	1,0	РКС-2,5 1 шт.	6	Машиностроительный завод (г. Сергиев Посад)
ОВ-3П-РКС	150-200	1,0	РКС-2,5 3 шт.	18	Экспериментальный завод коммунального оборудования АКХ

Примечания: 1. Присоединительные и установочные размеры принимают в соответствии с данными заводов-изготовителей. 2. Техническая документация на указанные установки находится на заводах-изготовителях.

Установка типа ОВ-1П применяется для обеззараживания воды на небольших объектах. Она состоит из корпуса и одной бактерицидной лампы БУВ-60П, размещенной в кварцевом цилиндрическом чехле. Пусковое

устройство к бактерицидной лампе крепят непосредственно к корпусу установки. Вода поступает в аппарат через нижний входной патрубок. Внутри аппарата имеется спираль, которая сообщает воде вращательное движение, способствующее хорошему перемешиванию потока. Многократно омывая кварцевый чехол, вода подвергается равномерному облучению и обеззараживанию. Потери напора в установке при расчетном расходе $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ составляют $0,2 \text{ м вод. ст.}$ Установку монтируют в помещении с температурой воздуха не ниже $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ вертикально на трубопроводе за насосом или непосредственно у водопотребителя.

Периодически (1...2 раза в месяц) необходимо очищать кварцевый чехол от образующегося на нем осадка. Очистку производят без выключения установки путем нескольких возвратно-поступательных движений спирали, передвигаемой с помощью рукоятки.

Установка типа ОВ-3Н предназначена для обеззараживания воды на водоочистных комплексах небольшой мощности. Она состоит из корпуса в виде прямоугольной камеры с тремя лотками, крышки корпуса, в которой размещены бактерицидные лампы, и шкафа управления. Установка оборудована бактерицидными лампами БУВ-60П и рассчитана на производительность до $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вода в установке ОВ-3Н движется самотеком через приемную камеру, дырчатую перегородку и далее проходит по лоткам, дважды меняя направление. Потеря напора в установке при расчетном расходе воды составляет $0,10...0,15 \text{ м}$. Установку монтируют в помещении с температурой воздуха не ниже $+ 50 \text{ }^\circ\text{C}$ и только в горизонтальном положении.

Установка типа ОВ-АКХ-1 (рис. 8.7) применяется для обеззараживания воды на водопроводах средней производительности. Установка состоит из двух основных частей: технологической и электрической. В первую входят секции установки, включающие в себя ряд (от двух до пяти) последовательно соединенных бактерицидных камер, вторая состоит из шкафа управления и ящика сигнализации.

Каждая камера представляет собой литую цилиндрическую конструкцию с шестью внутренними радиальными перегородками, обеспечивающими интенсивное перемешивание воды во время облучения. В центральной части каждой камеры в кварцевом цилиндрическом чехле помещена ртутно-кварцевая лампа типа ПРК-7. Производительность уста-

новки в зависимости от числа камер составляет от 30 до 150 м³/ч. Обеззараживаемая вода подается во входной патрубке и движется через последовательно расположенные камеры и далее в сеть.

Напорная установка ОВ-1П-РКС состоит из камеры, оборудованной спиралью и одной лампой РКС-2,5, помещенной в кварцевом чехле. Комплект установки состоит из ряда цилиндрических последовательно соединенных типовых камер. Подача одной камеры составляет до 70 м³/ч.

Безнапорная установка ОВ-3П-РКС рассчитана на расход 3000 м³/ч и более. Она устанавливается в канале в виде рам-кассет, на которых закреплены блоки с лампами РКС-2,5. В кассете закрепляют несколько ламп, защищенных кварцевыми цилиндрическими чехлами. Чтобы обеспечить турбулентный режим движения воды в канале и хорошее перемешивание во время облучения, лампы располагают в шахматном порядке. Это обеспечивает высокий коэффициент использования бактерицидного потока. Канал, оборудованный кассетами, сверху перекрыт съемными крышками. Рядом с каналом располагается пульт управления с пусковой аппаратурой к лампам.

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 или подрусовые воды, обеззараживание воды облучением дешевле в два-три раза по сравнению с хлорированием. Расход электрической энергии на обеззараживание воды из подземных источников водоснабжения облучением не превышает 10...15 Вт·ч/м³.

Расход электрической энергии на облучение обработанной воды из открытых источников водоснабжения составляет до 30 Вт·ч/м³.

Недостатком рассматриваемого метода обеззараживания, как и озонирования, является отсутствие длительного (продолжительного) его действия в водопроводных сетях.

В последнее время очень широкий выбор бактерицидных установок предлагает НПО «ЛИТ» (Россия, internet: www.npo.lit.ru).

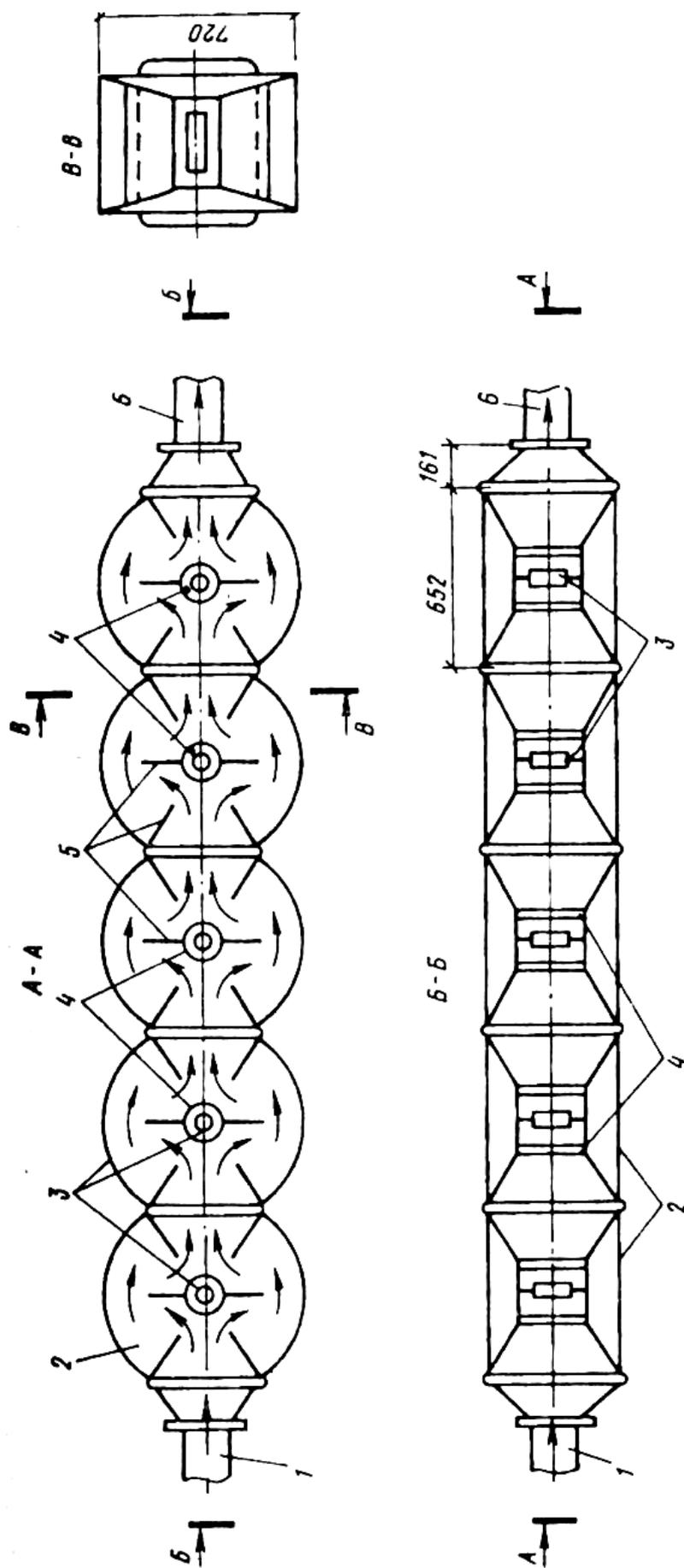


Рис. 8.7. Бактерицидная установка ОВ-АКХ-1: 1, 6 – подача и отвод воды; 2 – бактерицидная камера; 3 – ртутно-кварцевые лампы ПРК-7; 4 – кварцевые чехлы; 5 – струенаправляющие перегородки

ТЕМА 9. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

9.1. Стабилизация воды

Стабильностью воды называется ее свойство не выделять и не растворять осадок карбоната кальция CaCO_3 . Нарушение стабильности воды возможно в силу ряда факторов: прежде всего, наличие углекислоты CO_2 , растворенных газов O_2 или H_2S , низкое значение величины рН водной среды, пересыщенность карбонатом кальция или гидроокисью магния, повышенная концентрация хлоридов или сульфатов и т.д.

Для предотвращения негативных процессов, влияющих на работу системы водоснабжения в целом, вследствие нестабильности водной среды требуется ее специальная обработка с выбором методов, на которые влияют такие показатели качества, как агрессивность и коррозионность.

Между различными формами угольной кислоты в водных растворах существует динамическое равновесие:



С учетом приведенного уравнения реакции вводится понятие свободной равновесной углекислоты, т.е. кислоты, необходимой для поддержания в растворе концентрации ионов бикарбонатов HCO_3^- .

Вода, содержащая углекислоту в концентрации, превышающей равновесную, называется агрессивной, а в концентрации, совпадающей с равновесной, – стабильной.

Агрессивность воды связана с содержанием в ней соединений угольной кислоты, присутствующей в форме недиссоциированных молекул H_2CO_3 (незначительные концентрации), молекулярно растворенного углекислого газа CO_2 , бикарбонатных ионов HCO_3^- и карбонатных ионов CO_3^{2-} .

Соотношение между соединениями угольной кислоты в растворе при данной температуре зависит от величины рН (рис. 9.1), при этом концентрация свободной углекислоты, представляющей собой сумму H_2CO_3 и CO_3^{2-} , соответствует концентрации CO_2 . При необходимости содержание свободной углекислоты в воде для интервала значений рН = 6...8,5 можно определить по номограмме [2 – 5, 7].

Если вода является нестабильной, то в процессе эксплуатации металлических водопроводных труб может наблюдаться образование на их стенках отложений, характер которых зависит от состава транспортируемой воды или коррозии внутренней поверхности труб, обусловленной коррозионными свойствами водной среды. Это приводит к снижению пропускной

способности водоводов, прочности характеристик материала труб, утечке и ухудшению качества питьевой воды, подаваемой потребителю.

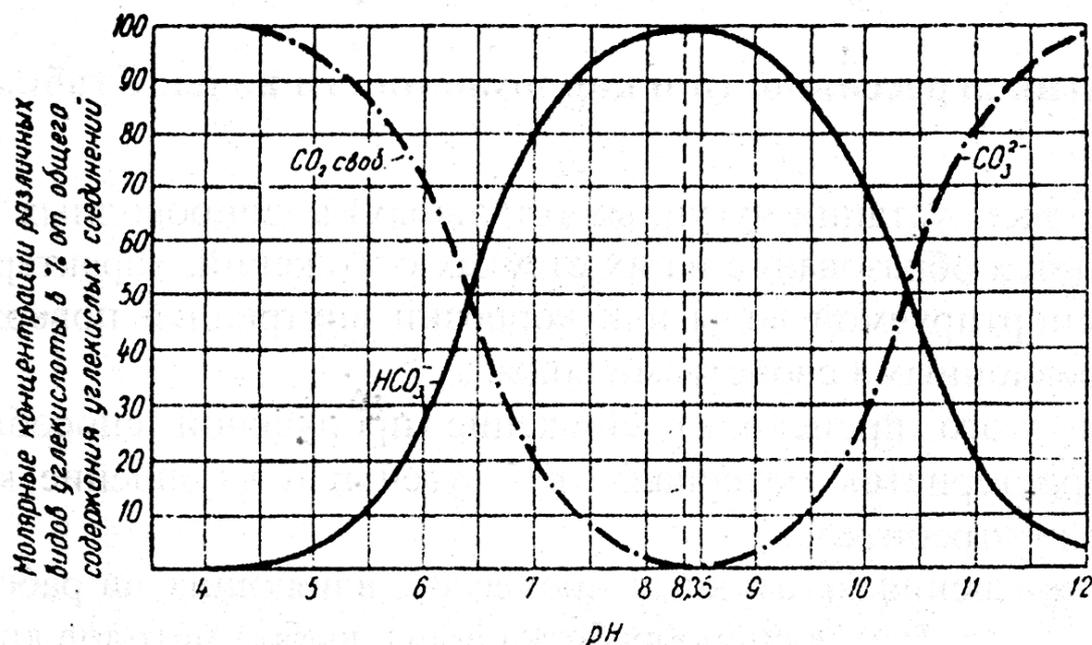


Рис. 9.1. График соотношений CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} в зависимости от величины pH воды

При анализе химического состава коррозионной водной среды необходимо учитывать, что ионы железа, хлориды и сульфаты являются стимуляторами коррозии.

Коррозионную активность определяют статическим методом, например, на коррозиметре. Для оценки коррозионной стойкости, обусловленной свойствами металла труб, используют показатель изменения массы (скорость коррозии) K_m , г/м²·ч (сутки, месяц, год), и глубинный показатель (проницаемость) K_2 , мм/год.

По этим параметрам, применяя принятую десятибалльную шкалу коррозионной стойкости, находят группу стойкости и балл для испытуемого образца металла. Углеродистые стали и чугун относятся к группе металлов с пониженной стойкостью ($K_m = 0,015 \dots 0,03$ г/м²·год, $K_2 = 0,1 \dots 1,0$ мм/год).

По отношению к металлу трубопроводов различают абсолютную и относительную коррозионность воды. Абсолютная коррозионность (коррозионная активность) обусловлена химическим составом и температурой воды, а относительная – зависит от условий нахождения металла в системе водоснабжения и режима ее работы.

О стабильности воды судят по ее показателю. Для оценки стабильности воды экспериментально осуществляют технологический анализ (кар-

бонатные испытания). Для определения показателя стабильности используют метод встряхивания воды в сосуде с порошком карбоната кальция в течение двух часов (ГОСТ 3313-46). Показатель стабильности рассчитывают по формуле

$$P_{cm} = \frac{Ш_0}{Ш_S},$$

где $Ш_0$ – щелочность воды до контакта с порошком карбоната кальция, мг-экв/л; $Ш_S$ – щелочность воды после контакта, мг-экв/л.

При $P_{cm} > 1$ вода пересыщена карбонатом кальция и способна создавать на поверхности труб защитную пленку. При $P_{cm} < 1$ вода является агрессивной и способна растворять карбонат кальция. При $P_{cm}=1$ вода считается стабильной. Таким образом, результаты карбонатных испытаний позволяют выявить количественную тенденцию воды растворять или выделять карбонат кальция.

Стабильность воды можно оценить по наличию в ней свободной углекислоты в агрессивной форме. Для этого необходимо аналитически установить ее содержание в воде и, используя данные физико-химического состава воды, рассчитать равновесную величину концентрации $[CO_2]_p$, мг/л, по следующей формуле:

$$\lg[CO_2]_p = pK_1 - pK_2 + pPP_{CaCO_3} + \lg[Ca^{2+}] + 2\lg[Ш_0] - 3\sqrt{\mu} - 5,96,$$

где pK_1 , pK_2 , pPP_{CaCO_3} – обратные логарифмы термодинамических констант соответственно первой и второй ступени диссоциации угольной кислоты и произведения растворимости карбоната кальция; μ – ионная сила, г-моль/л; $[Ca^{2+}]$ – концентрация кальция, мг/л.

Концентрация свободной углекислоты в агрессивной форме определяют по формуле

$$[CO_2]_{azp} = [CO_2]_{cv} - [CO_2]_p,$$

где $[CO_2]_{cv}$ – содержание свободной углекислоты в исходной воде, мг/л.

Вода считается стабильной, если $[CO_2]_{azp} = 0$, агрессивной – при положительном значении концентрации $[CO_2]_{azp}$ и пересыщенной по карбонату кальция – при отрицательном значении.

Одним из широко распространенных расчетных критериев оценки стабильности воды, несмотря на ряд его ограничений и приближенность, до настоящего времени является индекс насыщения Ланжелье:

$$I_L = pH - pH_S,$$

где pH – величина pH исходной воды; pH_S – pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция.

$$pH_S = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ) + f_4(P),$$

где $f_1(t)$ – функция температуры воды; $f_2(Ca^{2+})$ – функция концентрации в воде кальция; $f_3(Щ)$ – функция общей щелочности воды; $f_4(P)$ – функция общего солесодержания.

Для практического нахождения величины pH_S можно пользоваться номограммой [2, 3, 5, 7, 37]. При $I_L = 0$ вода стабильна, при $I_L < 0$ – агрессивна, при $I_L > 0$ – пересыщена по карбонату кальция.

Если имеется значительное количество эмпирических данных по воздействию воды на конструкционные материалы, то для оценки стабильности воды может применяться индекс Ризнера:

$$I_R = 2pH_S - pH.$$

Вода считается стабильной в области значений I_R , равных 6...7, при $I_R > 7$ – агрессивна, при $I_R < 6$ – способна к осаждению $CaCO_3$.

Для природных вод, прошедших реагентную обработку, индекс насыщения Ланжелье определяют по рассмотренной выше методике, при этом щелочность воды, мг-экв/л, и содержание свободной углекислоты, мг/л, после коагуляции могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$Щ = Щ_0 - \frac{D_k}{e_k},$$

$$[CO_2] = [CO_2]_0 + \frac{44D_k}{e_k},$$

где $[CO_2]_0$ – концентрация свободной углекислоты в исходной воде [5, 7], мг/л; D_k – доза коагулянта, мг/л; e_k – эквивалентная масса безводного вещества коагулянта, мг/мг-экв.

При одновременной обработке воды коагулянтom и хлором формулы будут иметь вид

$$Щ = Щ_0 - \frac{D_k}{e_k} - ХП, \quad [CO_2] = [CO_2]_0 + 44 \left(\frac{D_k}{e_k} + ХП \right),$$

где $ХП$ – хлоропоглощаемость воды, мг-экв/л.

Выбор методов стабилизации воды зависит от величины и знака индекса насыщения ее обработки.

При $I_L < 0$ обычно проводят реагентную обработку агрессивной воды растворами извести (часто применяют с одновременным подщелачиванием воды при коагулировании) или содой (применяют при обосновании и вводят в профильтрованную воду перед РЧВ), можно едким натром. При добавлении щелочного реагента происходит связывание агрессивной CO_2 с образованием бикарбонатов. Основной целью реагентной стабилизации воды является первоначальное наращивание защитной карбонатной пленки на внутренних стенках трубопроводов ($I_L \sim +0,7$) и дальнейшее ее сохранение вводимыми щелочными растворами при условии поддержания $I_L = 0$.

Расчет требуемой дозы подщелачивающего реагента для образования (первая доза) защитной пленки и ее поддержания (вторая доза) производится для каждого конкретного случая [4, 6, 7]. Расчет и конструирование оборудования для приготовления известкового молока, растворов извести, соды или едкого натрия и дозирования щелочных реагентов производят, как и при подщелачивании воды в процессе коагулирования.

Кроме реагентной обработки щелочными растворами, стабилизацию воды можно осуществлять фильтрованием через мраморную крошку или магномассу (полуобожженный доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$, обожженный магнетит MgO). При фильтровании воды агрессивная CO_2 связывается с образованием большего количества бикарбонатов Mg и меньшего – Ca . Такой метод перспективен для малых водопроводов при следующих условиях: карбонатная жесткость $\mathcal{J}_k < 2,3 \dots 3$ мг-экв/л, $\text{Fe}_{\text{общ}} < 0,3$ мг/л, температура воды > 3 °С (если < 3 °С, то не более 5 месяцев в году). Расчет фильтров, применяемых преимущественно в безнапорном варианте, производят по известным методикам с учетом рекомендаций [2, 4, 7].

Для стабилизации воды можно использовать аэрационные методы, особенно если производится ее обработка с целью умягчения, обессоливания или обезжелезивания. Удаление агрессивной углекислоты происходит за счет ее отдувки при пропуске воды через загрузку градирен (дегазатора).

При $I_L > 0$ и карбонатной жесткости $\mathcal{J}_k < 5,5 - 6,0$ мг-экв/л наиболее широко используют кислотную обработку воды 1...1,5 %-ными растворами соляной, серной кислоты или 2...4 %-ными фосфатными реагентами (гексаметафосфат, триполифосфат). При добавлении кислоты происходит снижение в воде гидрокарбоната и освобождение части CO_2 . Гексаметафосфат адсорбируется на поверхности кристаллов CaCO_3 в виде пленки, препятствующей росту микрокристаллов CaCO_3 . Полифосфат натрия переводит накипь в рыхлый, легко удаляемый шлам. Определение доз реаген-

тов, расчет и конструирование оборудования для приготовления кислотных растворов производят, как и при обработке охлаждающей воды в промышленности [4, 5, 37].

9.2. Обработка воды для улучшения привкусов и запахов

Многие примеси воды неорганического происхождения, находящиеся в молекулярном состоянии и обуславливающие привкусы и запахи, обладают летучестью, что позволяет извлечь их аэрацией (дегазацией) [2 – 5, 7, 12, 40].

Аэрация должна осуществляться до введения окислителей во избежание их потерь. Аэрирование воды производят в специальных аэраторах вакуумно-эжекционного, барботажного, разбрызгивающего и каскадного типов (рис. 9.2).

В вакуумно-эжекционном аппарате (ВЭА), сначала в вакуумной камере за счет большой скорости движения воды и резкого понижения ее давления, происходит почти полная десорбция растворенных газов, а в последующих эжекционных камерах, при подсосе воздуха извне – окисление кислородом некоторых ароматических веществ.

В аэраторах барботажного типа распределение воздуха в воде слоем 1...3,5 м обеспечивается перфорированными трубами, пористыми пластинами или трубами. Расход воздуха составляет 0,37 – 0,75 м³ на 1 м³ воды, продолжительность продувки – до 15 мин. Разновидностью барботажных аэраторов являются дегазаторы пенного и пленочного типов. Основным конструктивным элементом пенного аппарата служит перфорированная пластина (решетка), по которой тонким слоем течет вода, пронизываемая поперечным током воздуха, что вызывает ее вспенивание. В пенном слое из воды интенсивно десорбируются газы и происходит окисление кислородом легкоокисляемых веществ. В аппарате должно быть не более четырех-пяти полок. Одним из наиболее совершенных аэраторов является дегазатор пленочного типа, загруженный керамическими кольцами или пластмассовыми элементами (можно использовать хордовую насадку) для увеличения поверхности контакта аэрируемой воды и воздуха. Нагрузка по воде варьируется в зависимости от решаемой задачи. Обработываемая вода стекает тонкой пленкой или мелкими каплями сверху вниз, а снизу под контактную массу нагнетается воздух. Для подачи воздуха используют центробежные вентиляторы среднего давления.

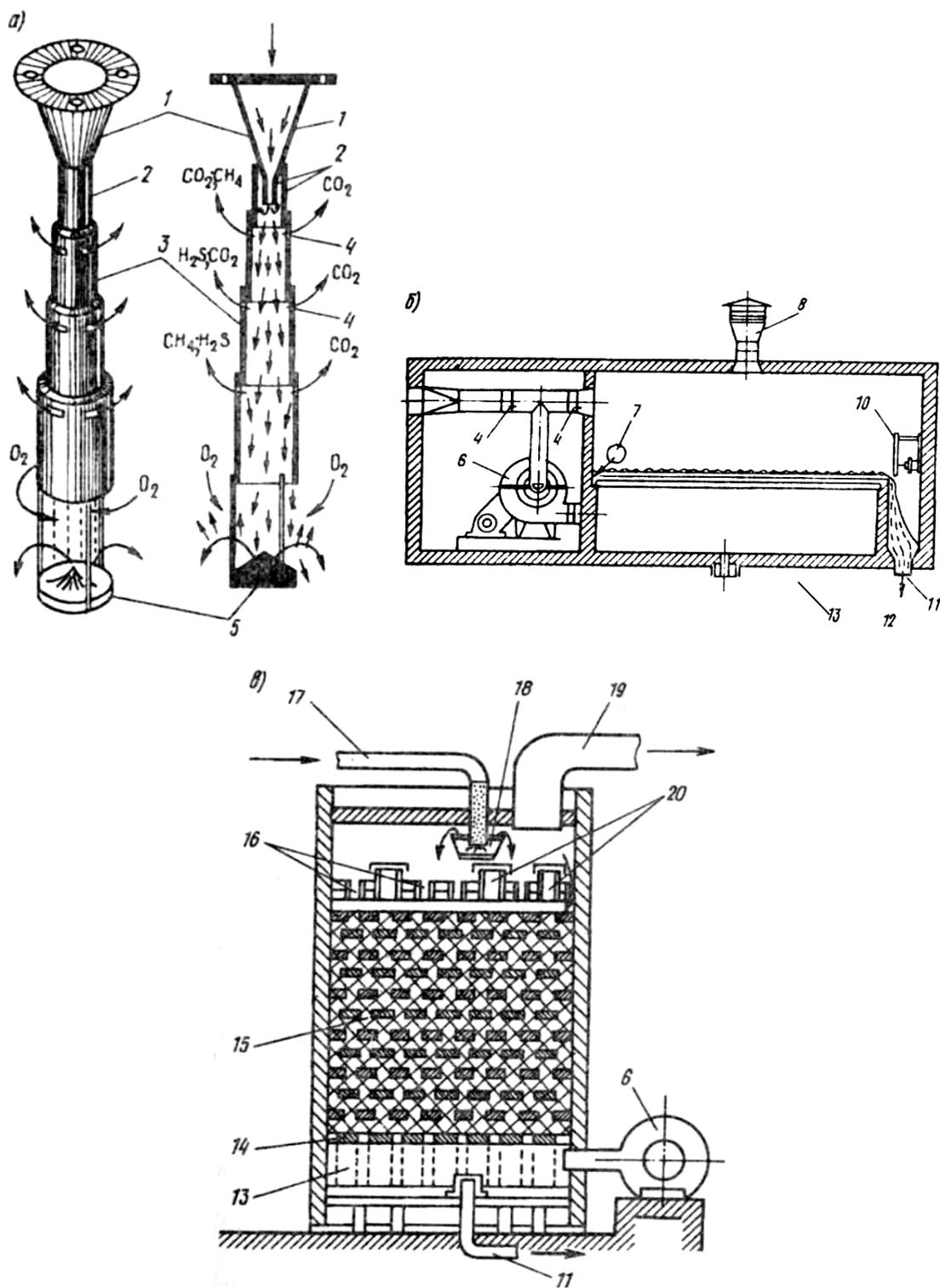


Рис. 9.2. Аэрационные аппараты вакуумно-эжекционного (а), пенного (б) и пленочного (в) типов: 1 – коническая сходящаяся насадка; 2 – вакуумная камера; 3 – эжекционные камеры; 4 – окна для удаления растворенных газов и подсоса воздуха; 5 – отражательная пластина; 6 – вентилятор; 7 – распределительная труба; 8 – дефлектор; 9 – слой пены; 10 – отбойный щит; 11 – отвод дегазированной воды; 12 – перфорированные пластины; 13 – поддон; 14 – дренажная плита; 15 – насадка из колец Рашига или пластмассовых элементов; 16 – оросительные патрубки; 17 – подача исходной воды; 18 – распределительная чаша; 19 – отвод выделившихся газов; 20 – патрубки отвода газовой смеси

В разбрызгивающих аэраторах (брызгальные бассейны) аэрируемая вода распыляется соплами на мелкие капли, что способствует увеличению поверхности ее контакта с воздухом. Продолжительность контакта воды с воздухом определяется начальной скоростью струи и ее траекторией. Объем бассейна рассчитывают на 30-минутное пребывание воды в нем. Нагрузка по воде определяется из расчета $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 поверхности при напоре $0,7 \text{ МПа}$. Принимают 4...6 сопел на 10 м^2 зеркала воды в бассейне.

Продолжительность контакта в аэраторах каскадного типа определяется числом последовательно расположенных ступеней водосливов, через которые аэрируемая вода падает струями. Потери напора составляют $0,9...1,3 \text{ м}$.

В последние годы в связи с возросшим загрязнением водоемов органическими соединениями за счет смыва с сельскохозяйственных угодий и сброса недостаточно очищенных сточных вод значение окислителей в практике очистки питьевой воды существенно возросло, так как многие химические вещества, присутствующие в воде, разрушаются в той или иной степени под их действием [2, 4, 7].

Часть вопросов, связанных с применением окислителей на первичной стадии обработки воды, были уже рассмотрены в теме 8.

Продукты трансформации могут значительно отличаться от исходных веществ (загрязнителей) не только по своей химической структуре и физико-химическим свойствам, но и по токсичности. Практика токсиколого-гигиенической и технологической оценки эффективности использования окислителей показывает, что решающим является выбор окислителя для очистки питьевой воды от химических загрязнений. При этом необходимо учитывать не только величину окислительно-восстановительного потенциала каждого окислителя, но и другие факторы, оказывающие существенное влияние на эффективность очистки: степень и характер химического загрязнения воды, ее состав, наличие природных соединений, таких, как гуминовые и сложные фенолы, способные окисляться, величина рН воды и т.д.

Необходимо учитывать способность некоторых окислителей к реакциям замещения с включением молекул окислителя в образующиеся химические вещества, в результате чего в воде могут появиться нежелательные и даже опасные соединения. Так, при обработке хлором воды, содержащей фенолы, образуются хлор-фенолы, придающие ей резкий неприятный запах. Возможно образование и токсичных хлорорганических соединений –

хлорированных углеводородов. В практике водоподготовки применяют следующие окислители: озон, перманганат калия, хлор и его производные.

Озон ($E = 2,07$ В) является наиболее сильным из всех известных окислителей. Одним из его преимуществ с гигиенической точки зрения является неспособность в отличие от хлора к реакциям замещения, о которых указывалось выше. Особенностью озона является то, что он быстро разлагается. С одной стороны, это вызывает некоторые технические трудности, а с другой – создает определенные преимущества, так как даже при некотором передозировании остаточные количества его не могут быть велики, не требуют устранения. Механизм действия озона на органические соединения происходит по реакциям окисдации и озонолиза (расщепление молекул в местах ненасыщенных связей). Вводить излишне большие дозы озона при обработке питьевой воды не рекомендуется, поскольку после нее вода может приобретать неприятный запах. Дозы озона для улучшения органолептических показателей принимаются 1,5...3 мг/л, а время контакта – 8...12 мин.

Перманганат калия ($E = 1,83$ В) является менее сильным окислителем, чем озон, он не вступает в реакции замещения. К недостаткам перманганата калия следует отнести его сравнительно высокую стоимость, дефицитность, а также опасность появления остаточных концентраций, поскольку марганец нормируется в питьевой воде до 0,1 мг/л. Приготовление раствора перманганата калия концентрацией 0,5...2 % (по товарному продукту) производят в баках с механическим побуждением, рассчитанных на время полного растворения реагента 4...6 ч при температуре воды 20 °С и на 2...3 ч – при 40 °С. Количество растворных или растворнорасходных баков принимают не менее двух.

Хлор ($E = 1,36$ В) – наиболее дешевый и распространенный из указанных выше окислителей, но значительно слабее. Недостатком хлора является его способность вступать в реакции замещения, в результате чего могут образовываться нежелательные побочные соединения. Вещества с альдегидной функцией в кислой среде хорошо окисдируются хлором, а в нейтральной и щелочной – хлорноватистой кислотой.

Рассматривая действие окислителей в целом, следует отметить, что в большинстве случаев при их применении наблюдается улучшение органолептических свойств обрабатываемой воды: исчезают запахи и привкусы, снижается или полностью исчезает цветность и окраска, вода перестает пениться. В результате деструкции образуются менее сложные по химической структуре и, как правило, менее опасные, в том числе и в плане отда-

ленных последствий действия вещества – продукты трансформации. Но необходимо подчеркнуть, что некоторые химические соединения в обычных условиях практически не поддаются действию окислителей, даже такого наиболее сильного из них, как озон. К таким веществам относятся пирит, бензол и его производные, ряд ароматических нитросоединений, альдегиды, кислоты. Они могут окисляться не полностью, в результате чего образуются продукты, придающие воде запах (фосфорорганические и поверхностно-активные вещества, фенолы) или окраску (нитросоединения, фенолы). При частичной окислации химических веществ, присутствующих в воде, могут появляться и более токсичные соединения, например, при воздействии на некоторые фосфорорганические пестициды. Поэтому можно говорить о существовании «критических» концентраций загрязнений, т.е. таких концентраций, при которых возникает опасность появления в воде недопустимых количеств неблагоприятных продуктов взаимодействия.

Дозы окислителей зависят от величины окисляемости воды и в первом приближении их можно принимать по табл. 9.1 [3, 7].

Таблица 9.1

Дозы окислителей для улучшения органолептических показателей воды

Окислитель	Доза окислителя, мг/л, при перманганатной окисляемости воды, мг O ₂ /л		
	8 – 10	10 – 15	15 – 25
Хлор	4 – 8	8 – 12	12 – 14
Перманганат калия	2 – 4	4 – 6	6 – 10
Озон	1 – 3	3 – 5	5 – 8

Доза окислителя может дробиться, т.е. он может вводиться в воду по частям перед сооружениями разного типа. Ввод окислителей перед коагулянтном или сорбентом либо одного перед другим должен производиться с разрывом по времени. При невозможности его соблюдения необходимо предусматривать контактные камеры. Непременным условием успешного применения окислителей является глубокое окисление химических веществ, т.е. до стадии образования карбоновых кислот.

Необходимость точного дозирования окислителей в соответствии с уровнем и видом загрязнения воды, а также сложность и длительность химических анализов зачастую не позволяют выдерживать на практике эти условия. Поэтому применение окислации как самостоятельного метода для

устранения органических загрязнений из воды может быть допущено только в том случае, если уровень загрязнения колеблется незначительно, не выходит за границы «критической» концентрации и существует уверенность, что в результате оксидации не будут образовываться неблагоприятные в органолептическом отношении или опасные для здоровья населения продукты трансформации химических веществ. Необходимо отметить, что применение в хозяйственно-питьевом водоснабжении озона и перманганата калия для дезодорации воды не исключает необходимости ее хлорирования для обеззараживания.

Дезодорация воды сорбцией является более надежным по сравнению с окислительным методом, так как он основан не на трансформации органических веществ, а на их извлечении из воды [3 – 5, 12, 37]. Из известных сорбентов наиболее эффективными являются активные угли (наиболее широко применяемые), углеродные волокнистые материалы и неуглеродные сорбенты (клиноптилолит, цеолиты). Они хорошо сорбируют фенолы, полициклические ароматические углеводороды, в том числе канцерогенные, большинство нефтепродуктов, хлор- и фосфорорганические пестициды и многие другие органические загрязнения. Но сорбцию, например, на активных углях нельзя рассматривать в качестве универсального способа очистки воды от органических соединений. Известны вещества, которые ими не задерживаются, например, органические амины, или извлекаются плохо, например, СПАВ.

Активные угли применяют в виде порошка (углевание воды) или в виде гранул в качестве загрузки фильтров (активированные угли марки АГ, КАД, ДАК, БАУ и активированный антрацит).

Углевание воды имеет ряд недостатков, которые ограничивают его использование: трудности, связанные с приготовлением и дозированием угольной пульпы, с необходимостью иметь емкости для контакта АУ с обрабатываемой водой, одноразовое применение угля. Поэтому углевание воды может быть использовано эпизодически, кратковременно и в небольших дозах. Для дозирования угольной пульпы предусматривают замачивание угля в течение одного часа в баках с механическим или гидравлическим перемешиванием (см. тему 3). Угольную пульпу концентрацией 5...8 % вводят в воду до коагулянта не менее чем за 10 мин. Дозу угля перед фильтрами принимают до 5 мг/л, а перед сооружениями предочистки она не лимитирована.

Более надежным является применение гранулированных активных углей (ГАУ), используемых в качестве фильтрующей загрузки. Фильтры с

ГАУ независимо от колебания уровня загрязнения воды служат постоянно действующим барьером по отношению к сорбируемым веществам, если емкость угля не исчерпана. Следует отметить, что уголь марки АГ-5 можно применять только при подготовке технической воды.

На рис. 9.3 показаны схемы напорных фильтров с ГАУ. Угольные фильтры располагают после осветлительных, возможно применение открытых фильтров и совмещенных осветлительно-сорбционных.

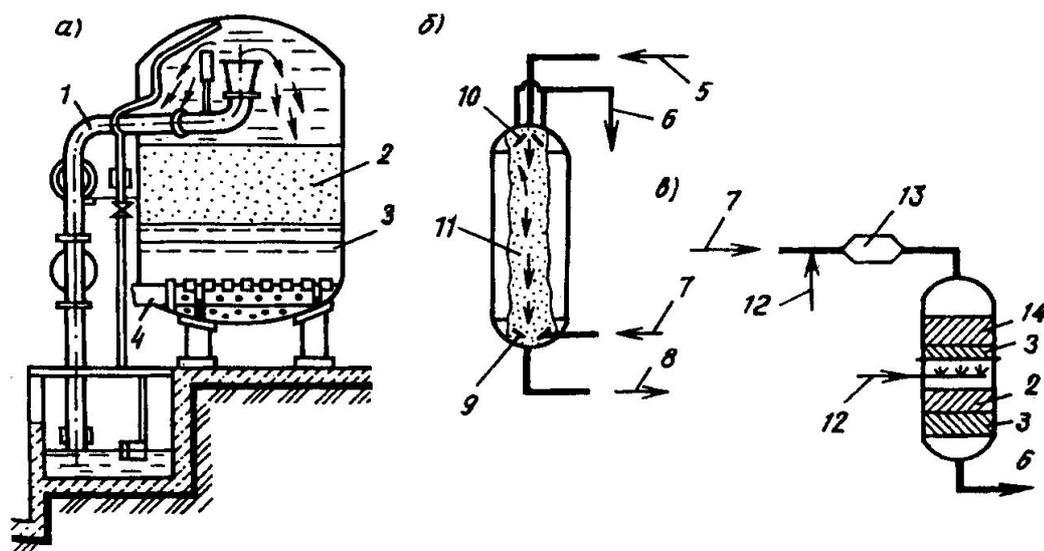


Рис. 9.3. Напорные угольные фильтры со стационарным (а) и взвешенным (б) слоями активного угля и схема прямоточного осветлительно-адсорбционного фильтра (в): 4 – подача исходной и отвод обработанной воды; 2 – слой активного угля; 3 – поддерживающий слой; 5, 8 – отвод и подача угольной пульпы; 6, 7 – отвод очищенной и подача исходной воды; 9, 10 – распределительное и дренажное устройства; 11 – противоток очищаемой воды и активного угля; 12 – ввод катионного флокулянта; 13 – смеситель; 14 – керамзит (кварцевый песок), модифицированный сульфатом алюминия; 15 – подача промывной воды

Сорбционные фильтры обычно работают на уже осветленной воде, поэтому их периодически для взрыхления загрузки при слеживании промывают водой. Основным недостатком применения угольных фильтров является необходимость регенерации (восстановления сорбционных свойств) ГАУ, которая может производиться химическим, термическим и биологическим методами. Химический метод предусматривает предварительную обработку угля острым паром, а затем щелочью. Метод сложный, трудоемкий и недостаточно эффективный, так как не восстанавливает сорбционную способность материала полностью. Термический метод заключается в выжигании адсорбированных органических соединений в специальных печах при температуре 800...900 °С.

На рис. 9.4 показана схема организации работы фильтров с непрерывным обжигом активного угля. Описываемый метод регенерации не только сложен, но и сопряжен с потерями угля при обжиге до 12 %. Биологический метод регенерации основан на жизнедеятельности бактерий, минерализующих адсорбируемые углем органические соединения, однако этот процесс протекает крайне медленно.

Эффект дезодорации воды сорбцией и оксидацией примесей, а также межрегенерационный период работы ГАУ могут быть резко увеличены, если воду перед фильтрованием через уголь обработать окислителем [3 – 5, 12, 37]. При такой обработке воды происходит не простое суммирование двух процессов, а имеет место эффект окислительно-сорбционного взаимодействия, который заключается в том, что, с одной стороны, уголь выступает в качестве катализатора оксидации, значительно повышая глубину и скорость этого процесса, а с другой стороны, – многие продукты оксидации лучше сорбируются на угле. Кроме того, применение двух методов всегда надежнее и позволяет значительно расширить диапазон удаляемых из воды органических загрязнений. Практика показала, что совместное применение окислителей и активного угля имеет и экономическое преимущество.

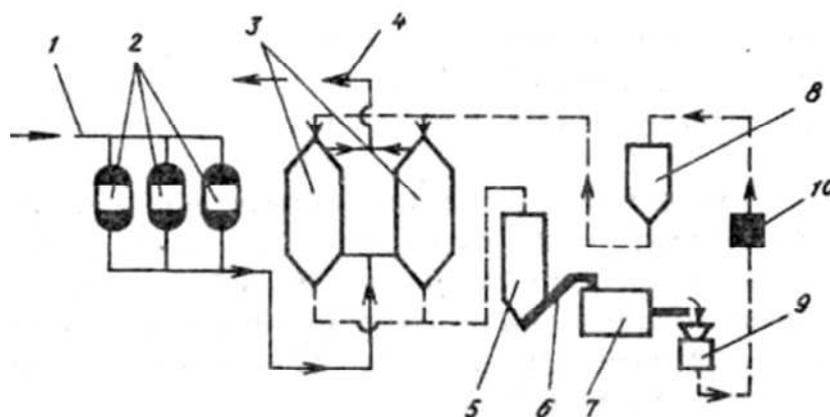


Рис. 9.4. Схема работы угольных фильтров с непрерывной термической регенерацией активного угля: 1, 4 – подача исходной и отвод очищенной воды; 2 – механические фильтры предварительной очистки; 3 – угольные фильтры со взвешенным слоем; 5 – бункер отработавшего активного угля; 6 – шнек; 7 – печь для прокаливания угля; 8 – промежуточный бункер; 9 – бак для охлаждения угля; 10 – камера обдувки угля

Технические решения использования окислительно-сорбционного метода обработки воды могут быть различными в зависимости от качества обрабатываемой воды, состава и типа очистных сооружений. Так, фильтры с ГАУ, предназначенные для дезодорации, располагают в технологических схемах после осветлительных фильтров. Но ГАУ может использоваться

также в фильтрах, выполняющих одновременно с дезодорацией и функцию осветления воды. Тогда фильтры, как правило, располагают после сооружений предварительной очистки, при этом загрузка их может либо целиком состоять из ГАУ, либо из угля и песка (двухслойная загрузка). В схеме контактного осветления воды возможно также устройство отдельно стоящих угольных фильтров, располагаемых после контактных осветлителей, или контактных осветлителей с песчано-угольной загрузкой. Расположение угольной загрузки в технологической схеме водоподготовки зависит от ее назначения, а также санитарно-гигиенических и технико-экономических показателей очистки воды.

Окислитель во всех случаях должен быть введен в обрабатываемую воду до ее поступления на угольную загрузку. При этом окислитель может вводиться либо в начале технологической схемы, либо перед угольными фильтрами.

Возможно также двойное введение окислителей разного типа. Место ввода окислителя зависит от общих задач, возлагаемых на окислитель, от скорости его реакции и других факторов. Но во всех случаях необходимо обеспечить наличие окислителя в воде, поступающей на угольную загрузку.

Хлор целесообразно использовать в качестве окислителя только в том случае, когда в воде находятся сравнительно легко окисляемые загрязнения, такие, как фенолы, некоторые вещества природного происхождения, придающие воде привкусы и запахи, и т.д. При этом необходимо учитывать, что в условиях совместного применения хлора и активного угля предварительная аммонизация воды, к которой часто прибегают на практике, не требуется (при необходимости аммонизация может производиться при окончательном хлорировании). Когда в воде присутствуют преимущественно трудноокисляемые загрязнения, например, растворимые фракции нефти и ее продукты, СПАВ, органические пестициды и т.д., необходимо применять озон как наиболее сильный окислитель. Иногда может оказаться также эффективным применение нескольких окислителей (хлора и перманганата калия, озона и хлора). Выбор окислителя, его дозы и места ввода в технологической схеме очистки воды устанавливается путем пробной ее обработки в лабораторных условиях исходя из того, чтобы нагрузка на уголь как сорбент была минимальной. При этом необходимо учитывать, что уголь играет роль не только сорбента, но и катализатора окислации, т.е. он ускоряет этот процесс.

Применение ГАУ не вносит каких-либо существенных изменений в основные конструктивные элементы фильтровальных сооружений, и они мо-

гут выполняться в соответствии с общими нормативными указаниями. При проектировании фильтровальных сооружений с угольной загрузкой следует применять безгравийные распределительные системы, что позволяет уменьшить строительную высоту или соответственно увеличить слой загрузки.

Отличительная особенность этих сооружений состоит в том, что они должны быть оборудованы устройствами для механизации процессов загрузки и выгрузки угля, поскольку эти операции производятся чаще, чем для инертных загрузок. Кроме того, на сооружениях с угольными фильтрами должны быть предусмотрены механизированные площадки и склады для хранения свежего и отработанного угля, его подсушки и т.д. Расчет и проектирование этих устройств и сооружений должны производиться с учетом количества угля, находящегося в работе, а также с учетом запасов, необходимых для его замены. При длительной обработке воды углями без их замены (в особенности при совместном использовании углей и окислителей) этот запас может потребоваться лишь для ежегодной догрузки угольных слоев, примерно в размере 10 % рабочего слоя. При быстрой отработке угля может потребоваться запас на одновременную замену всего рабочего слоя.

При расчете угольной сорбционной загрузки исходят из следующих соображений. Высота угольной загрузки должна быть больше расчетной величины, обеспечивающей требуемый эффект очистки воды от химических загрязнений. Для расчета этой величины с некоторым приближением можно пользоваться простейшей зависимостью вида $H = \nu t$ ($\nu = 10...15$ – скорость фильтрования, м/ч; $t = 10...15$ – время пребывания воды, мин, в угольной загрузке, необходимое для очистки).

Величину t находят экспериментально на фильтровальной колонке, загруженной углем, при фильтровании воды, подлежащей очистке на реальных сооружениях. Оно зависит от сорбционных свойств угля, концентрации и вида загрязнений, способов обработки воды до ее поступления на угольный фильтр, в том числе и от вида применяемого окислителя. При совмещении в одном фильтровальном сооружении функций осветления воды и очистки от химических загрязнений принимаемые параметры загрузки должны удовлетворяться также требованиям процесса осветления. Но следует учитывать, что вследствие обрастания угля неорганическими загрязнениями (в основном гидрооксидами алюминия, железа и др.) возможно резкое снижение сорбционной емкости по отношению к органическим веществам. Поэтому необходимо обеспечить высокую степень пред-

варительного осветления воды до поступления ее в слои угольной загрузки. Это особенно актуально по отношению к фильтрам с ГАУ, в которых принято совмещение функций осветления воды и ее очистки от химических загрязнений.

9.3. Удаление из воды железа

Повышенное содержание соединений железа в природной воде в концентрациях, превышающих нормативные (обычно до 0,3 мг/л), делает ее не пригодной для питья и использования в технологических процессах некоторых отраслей промышленности.

Под обезжелезиванием или деферризацией понимают процесс извлечения из подземных и поверхностных вод железа, присутствующего в воде в виде сложных органических и минеральных соединений, растворов двухвалентного железа, карбонатов и бикарбонатов железа, коллоидных и тонкодисперсных взвесей, гидроксидов и сульфитов железа и т.д.

Особенно этот вопрос важен для коммунальных систем водоснабжения Республики Беларусь, т.к. основным источником водоснабжения населенных мест являются подземные воды, как правило, содержащие повышенную концентрацию железа.

Наличие железа в воде придает ей красно-бурую окраску, неприятный металлический привкус, вызывает зарастание водопроводных сетей, но самое главное, вредно для здоровья людей. При продолжительном введении в организм человека его избыток накапливается в печени в коллоидной форме оксида железа, получившей название гемосидерита, вызывая разрушение печени. Отмечено вредное влияние избытка железа на состав крови. В промышленности вода такого качества часто не удовлетворяет различным технологическим процессам. Все это приводит к тому, что воду необходимо подвергать обработке для удаления избыточного железа (например, для хозяйственно-питьевых целей железа должно содержаться до 0,3 мг/л, но кратковременно, по разрешению местных санитарных органов, может быть до 1 мг/л).

В поверхностных водах железо обычно встречается в виде органических и минеральных комплексных соединений либо коллоидных и тонкодисперсных взвесей. Преобладающей формой существования железа в подземных водах является бикарбонат железа (II) $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, который устойчив при наличии свободной углекислоты и отсутствии растворенного кислорода. Кроме этого, железо (II) может быть в виде форм сульфита, сульфата и карбоната, комплексных соединений с гуматами и фульвокислотами.

Многообразие форм и концентраций железа в воде природных источников вызвало необходимость разработки целого ряда методов, технологических схем и сооружений обезжелезивания воды. Теоретические предпосылки и практические разработки были выполнены рядом известных ученых, таких, как И.Э. Апельцин, Л.А. Кульский, Г.Ю. Асс, Г.И. Николадзе и др.

Выбор того или иного метода обработки природной воды, содержащей соединения железа, зависит от их количества и формы существования (рис. 9.5), качественного состава воды, производительности очистных сооружений (установок) и рекомендуется, прежде всего, производить на основании технологических изысканий непосредственно у источника водоснабжения.

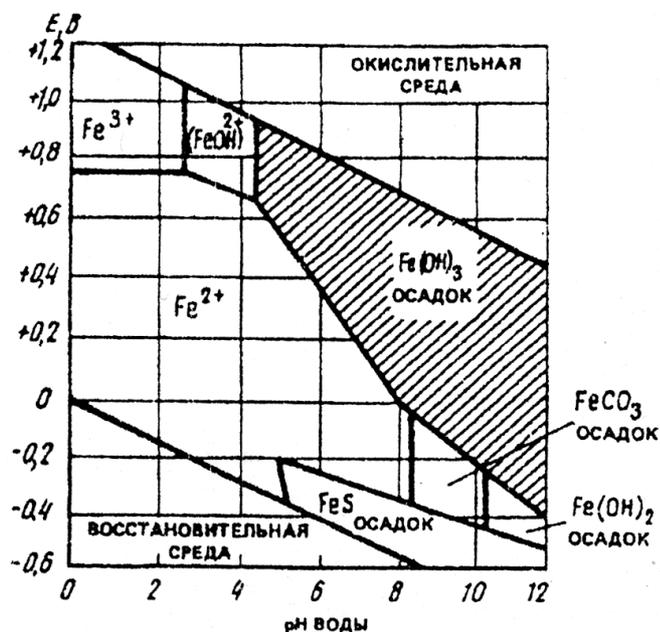


Рис. 9.5. Диаграмма Пурбе содержания форм железа в водной среде

Рассмотрим основные методы удаления из воды железа для систем водоснабжения хозяйственно-питьевого назначения населенных мест. Специальные вопросы удаления железа в воде технологических процессов различных производств (ТЭЦ, шахты, оборотные системы промводоснабжения и др.) будут рассмотрены при изучении дисциплины «Водоснабжение промышленных предприятий».

В практике водоподготовки методы обезжелезивания воды, прежде всего, для коммунального водоснабжения представлены двумя группами: реагентные и безреагентные. Область применения и сущность существующих методов обезжелезивания воды представлены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Характеристика методов обезжелезивания воды [3, 4, 7, 12]

№№	Метод обезжелезивания	Область применения	Состав сооружений (установок)	Сущность метода обезжелезивания
1	2	3	4	5
1. Безреагентные методы: $pH_{лсх} \geq 6,7$; щелочность ($Щ$) $\geq 1,5$ мг-экв/л; перманганатная окисляемость (ПО) $< 9,5$ мг O_2 /л;				
1	Фильтрование на каркасных фильтрах	$Fe_{общ} \leq 5$ мг/л $Fe(II)$ в карбонатной или бикарбонатной форме ≤ 3 мг/л, (Q до 1000 м ³ /сут)	Оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания; скорый каркасно-засыпной фильтр	Для обезжелезивания воды на каркасных фильтрах характерны два процесса: «зарядка» фильтра путем намывания на керамическом патроне слоя гидрооксида железа, образующегося в результате окисления Fe^{2+} , и фильтрование с целью обезжелезивания воды
2	«Сухая» фильтрация	$Fe_{общ} \leq 5$ мг/л	Оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания при использовании напорного фильтра. Скорый безнапорный фильтр, перед которым производится аэрация в свободном объеме воды. Скорый безнапорный фильтр с полузатопленной загрузкой. Оборудование для обеззараживания воды	Сущность метода «сухой» фильтрации заключается в фильтровании аэрированной воды через затопленную фильтрующую загрузку, на зерна которой формируется адсорбционно-каталитическая пленка из соединений железа (марганца), способствующая эффективности дальнейших процессов обезжелезивания. Процесс обезжелезивания этим методом характеризуется минимальным периодом «зарядки» фильтрующей загрузки, высокой гряземкостью, повышением pH и незначительным снижением жесткости
3	Упрощенная аэрация с одноступенчатым фильтрованием	$pH \geq 6,8$ $Fe_{общ}$ до 10 мг/л $Fe(II) - 70\%$ от общего, $E \geq +100$ мВ; $J > +0,05$ для воды после аэрации	Оборудование для аэрации воды: бак-аэратор, компрессор, эжектор или устройство для свободного излива воды в фильтр. Скорый напорный или безнапорный фильтр. Оборудование для обеззараживания воды.	Метод основан на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при фильтровании через слой фильтрующей загрузки выделять железисто на поверхности зерен, образуя каталитическую пленку из ионов и оксидов двух- и трехвалентного железа.

1	2	3	4	5
		$Щ \geq 1 + \frac{Fe^{2+}}{28}$ $H_2S \leq 2 \text{ мг/л}$ ограниченное применение при наличии органики и аммонийного азота		При работе фильтра происходит непрерывное обновление пленки, являющейся катализатором процесса обезжелезивания.
4	Упрощенная аэрация с двухступенчатым фильтрованием	$Fe_{общ}$ от 10...20 мг/л	Аэрационные устройства (п.3), скорые фильтры I и II ступеней; оборудование для обеззараживания воды.	
	Глубокая аэрация с одноступенчатым фильтрованием в открытых скорых фильтрах или двухступенчатым фильтрованием в напорных фильтрах	$Fe_{общ}$ до 10 мг/л высокая концентрация CO_2 $E \geq +100 \text{ мВ}$; $J > +0,05$ для воды после аэрации	Оборудование для аэрации воды: дегазатор или контактная градирня, компрессор, эжектор. Скорый безнапорный фильтр. Скорые напорные фильтры I и II ступеней. Оборудование для обеззараживания воды.	Метод основан на длительной аэрации воды с целью удаления растворенных газов и прежде всего CO_2 с последующим фильтрованием через слой фильтрующей загрузки. Для напорного варианта используются двухступенчатые фильтры (1 ступень – контактный угольный, 2 ступень – осветлительный песчаный с фракцией 0,6...0,8 мм для задержания минерализованного гидроксида железа).
5	Вакуумно-эжекционная аэрация с фильтрованием через загрузку большой емкости	$Fe_{общ}$ от 10...20 мг/л $PO \leq 9,5 \text{ мг}O_2/\text{л}$ $H_2S \leq 10 \text{ мг/л}$	Вакуумно-эжекционный аппарат; скорый фильтр; оборудование для обеззараживания воды.	Метод основан на использовании двух процессов: объемного мгновенного вскипания воды в вакууме, сопровождаемого десорбцией CO_2 , H_2S и др., повышением рН воды в потоке эжектируемого воздуха, насыщением воды кислородом с одновременным достижением высоких скоростей окисления двухвалентного железа в трехвалентное.

1	2	3	4	5
6	Вакуумно-эжектионная аэрация с тонкослойным отстаиванием или осветлением в слое взвешенного осадка и фильтрованием	$Fe_{общ} > 20$ мг/л (при наличии H_2S , $Fe_{общ} - 1...5$ мг/л) $pH \geq 6,4$	Вакуумно-эжектионный аппарат, отстойник с тонкослойными модулями (осветлитель со взвешенным осадком), скорый фильтр. Оборудование для обеззараживания воды.	Удаление образовавшихся хлопьев гидрооксида железа осуществляется на отстойных сооружениях (вариант) с фильтрованием воды на скорых фильтрах.
7	Обезжелезивание в пласте (метод «Виредокс»)	$Fe_{общ} \leq 5$ мг/л, $Mn(II) \leq 0,4$ мг/л $pH \geq 5$ Крупные трещиноватые водоносные породы. При наличии мелкозернистых водоносных пород возможна их быстрая коагуляция соединениями железа.	Устройства и оборудование для получения части аэрируемой воды и закачки ее в водоносный горизонт	Сущность метода обезжелезивания на установках типа «Виредокс» состоит в подаче 10 % от общего расхода воды, насыщенной кислородом воздуха, обратно в водоносный горизонт через поглощающие скважины. В результате биохимических и химических процессов железо и марганец переходят в нерастворимую форму и выделяются в осадок.
2. Реагентные методы: низкие значения pH, высокая концентрация CO_2 , перманганатная окисляемость (ПО), нестабильность воды				
8	Фильтрование через модифицированную загрузку	$Fe_{общ} \leq 12$ мг/л, $Fe(II)$ в карбонатной или сернокислой форме ≤ 10 мг/л; $ПО \leq 15$ мг/л	Скорый фильтр с модифицированной загрузкой; оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания воды	Метод основан на формировании на поверхности фильтрующей загрузки пленки из соединений, обладающих высокими адгезионными и электростатическими свойствами, что достигается путем последовательной обработки загрузки 0,5 %-ным раствором перманганата калия, можно совместно 1,5 %-ным раствором сернокислого двухвалентного железа. Возможно применение готовых модифицированных загрузок типа Мандикс, Гринзанд и др.

1	2	3	4	5
9	Упрощенная аэрация с обработкой сильным окислителем и фильтрованием через зернистую загрузку большой грязеёмкости	$Fe_{общ} \leq 18$ мг/л, $Fe(II)$ в карбонатной или сернокислой форме ≤ 15 мг/л $ПО \leq 15$ мг/л	Аэратор; реагентное хозяйство; контактный фильтр КФ-5; оборудование для обеззараживания воды.	При аэрации воды происходит удаление углекислоты, насыщение воды кислородом воздуха, что способствует повышению рН и частичному окислению двухвалентного железа. Полное разрушение комплексных соединений двухвалентного железа достигается путем введения в обрабатываемую воду окислителя (хлор, озон, перманганат калия) и последующего фильтрования хлопьев гидрооксида через фильтрующую загрузку
10	Известкование, напорная флотация с последующим фильтрованием	$Fe_{общ} \geq 15$ мг/л, $Fe(II)$ в карбонатной или сернокислой форме ≥ 10 мг/л, $ПО \geq 15$ мг/л	Реагентное хозяйство; флотатор; оборудование для подготовки водовоздушной смеси и обеззараживания воды; скорый фильтр.	При использовании напорной флотации с предварительным известкованием воды происходит процесс слипания частиц гидрооксида железа, ранее полученного в результате окисления Fe^{2+} , с пузырьками тонкодиспергированного в воде воздуха и всплывания образующихся агрегатов на поверхность воды и дальнейшее ее фильтрование через зернистую загрузку.
11	Аэрация, известкование, тонкослойное отстаивание и фильтрование	То же, что в п. 10 $pH \geq 7$	Аэратор; реагентное хозяйство; камера хлопьеобразования, встроенная в отстойник; скорый фильтр; оборудование для обеззараживания воды.	Процесс обезжелезивания осуществляется путем аэрации воды, обработки ее щелочным реагентом, выделения соединений трехвалентного железа в тонком слое воды и доочистки на скорых фильтрах.
12	Электрокоагуляция с барботированием, тонкослойное отстаивание и фильтрование	То же, что в п. 10 $Q \leq 200$ м ³ /сут	Электрокоагулятор; тонкослойный отстойник с камерой хлопьеобразования. Скорый фильтр. Оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания воды.	Этот метод аналогичен предыдущему. Отличие состоит в замене предварительного насыщения воды кислородом воздуха и известкования – на электрокоагуляцию.

Окончание табл. 9.2

1	2	3	4	5
13	Катионирование	При необходимости одновременного обезжелезивания и умягчения воды.	Катионитовые фильтры; оборудование для подготовки регенерационного раствора.	Метод основан на способности катионита поглощать ионы железа из воды в обмен на эквивалентное количество ионов катионита.
3. Биохимический метод обезжелезивания воды				
14	Упрощенная аэрация с фильтрованием воды через биологически активную загрузку (БАЗ)	$Fe_{общ} \leq 20$ мг/л, $Fe(II)$ в карбонатной или сернокислой форме ≤ 10 мг/л $pH \leq 8,5$	Оборудование для аэрации воды: аэрогидронасадки, компрессор, эжектор или устройство для свободного излива воды в фильтр. Скорый безнапорный или напорный фильтр. Оборудование для стабилизации и обеззараживания воды.	Метод основан на биохимическом окислении железа в воде при ее фильтровании через слой фильтрующей загрузки (обычно песок), содержащей железобактерии. Для обработанной воды необходима проверка воды на стабильность.

В состав большинства станций (установок) обезжелезивания, работающих в безреагентном или реагентном режиме, входят: аэрационные устройства; оборудование для подачи воздуха и обеззараживания воды; в отдельных случаях – отстойники с тонкослойными модулями или осветлители со взвешенным осадком; скорые фильтры (рис. 9.6).

Для удаления железа из подземных вод наибольшее распространение получили безреагентные методы обработки, а обезжелезивание поверхностных вод осуществляют в основном реагентными методами.

Конструкции аэрационных и фильтровальных сооружений, которые применяются для обезжелезивания воды, аналогичны конструкциям для ее осветления и дезодорации (см. выше).

Метод закачки воды в подземный пласт является наиболее дешевым и достаточно эффективным, но применяется только при определенных условиях, т.к. имеет ряд существенных технических и технологических недостатков. Основным из них является возможность кольтматации водоносных пород (вплоть до полного прекращения подачи воды из скважин), особенно если они представляют собой мелкозернистые пески.

Наиболее широко в Республике Беларусь используется метод упрощенной аэрации с последующим ее фильтрованием. Состав воды около 80 % всех подземных источников из скважин соответствует условиям применения этого метода, сущность которого заключается в протекании основной реакции обезжелезивания воды:



При выполнении изысканий непосредственно у скважины ставится лабораторный фильтр, вода аэрируется, пропускается через него. Определяется время зарядки фильтра, т.е. когда в фильтрате содержание железа не будет превышать 0,3 мг/л. Это время может быть от нескольких часов до нескольких суток.

Значительно сократить время можно внесением небольшого объема жидкой биологически активной загрузки (БАЗ) уже с работающих фильтров. Как правило, через несколько часов работа фильтра стабилизируется с нормативным качеством фильтрата, и фильтр будет работать нормально. Вообще установлено, что в начальный период работы фильтра обязательно проходят сопутствующие биохимические процессы, которые впоследствии могут преобладать или затухать.

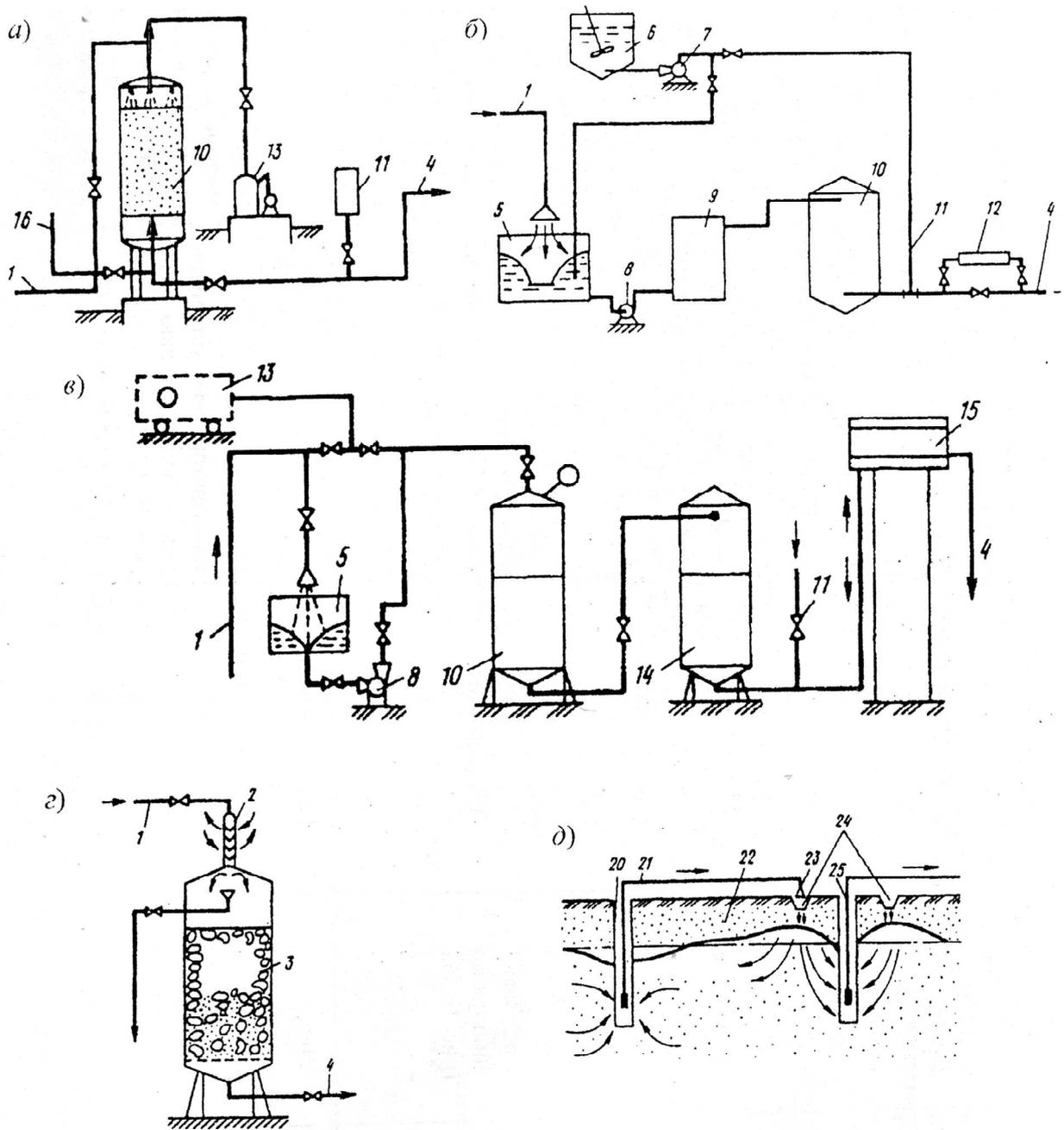


Рис. 9.6. Схемы установок обезжелезивания природных вод: *а* – «сухая» фильтрация; *б* – упрощенная аэрация (вариант, установка «Деферрит»); *в* – упрощенная аэрация с двухступенчатым фильтрованием; *г* – вакуумно-эжекционная аэрация и фильтрование; *д* – обезжелезивание в пласте (метод «Виредокс»); *е* – известкование (установка «Струя»); 1 и 4 – подача исходной и отвод обработанной воды; 2 – вакуумно-эжекционный аппарат; 3 – скорый каркасно-засыпной фильтр; 5 – бак-аэратор; 6 – реагентное хозяйство; 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 (см. также с. 202)

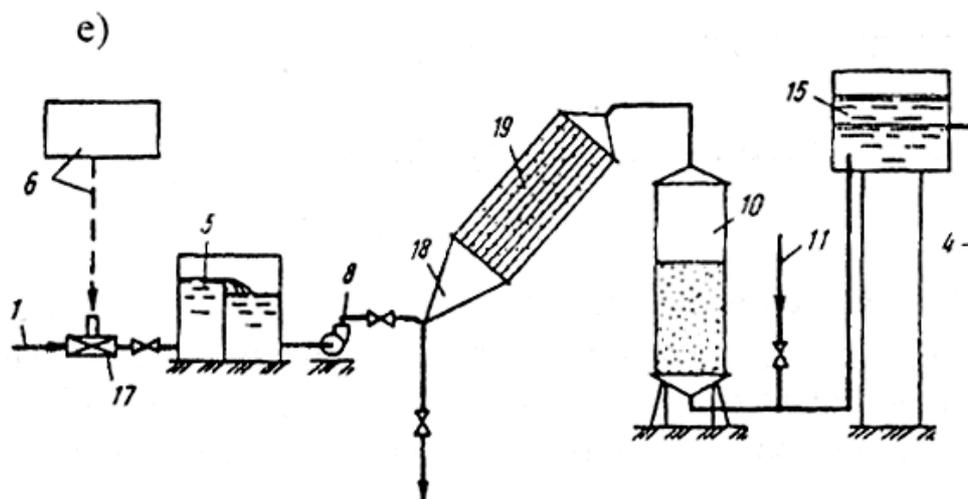


Рис. 9.6. Окончание

В результате изысканий определяется высота слоя загрузки, скорость фильтрования, время защитного действия фильтра и продолжительность фильтроцикла. В пусковой и эксплуатационный период эти величины уточняются.

Технологически метод упрощенной аэрации осуществляют в скорых фильтрах с песчаной, керамзитовой или гравийной загрузкой. В последнее время применяют фильтры с плавающей загрузкой из полимерных материалов. Крупность зерен песчаной загрузки, ее высоту и скорость фильтрования назначают по [5].

Перед подачей воды на фильтры производят ее аэрирование. Для открытых фильтров достаточно применить разбрызгивание воды в приемной камере или самом фильтре путем ее свободного излива с высоты 0,5...0,6 м, можно использовать вакуумно-эжекционное устройство. Иногда применяют двойное аэрирование воды: в приемной камере (свободный излив) и в самом фильтре с помощью трубопровода с гидравлическими насадками по всей его длине (над уровнем воды).

При использовании напорных фильтров аэрацию воды проводят разными способами: в баке-аэраторе (рис. 9.6, б), путем подачи сжатого воздуха компрессором в смесительную вставку или устройство эжектора (наиболее эффективный способ, если позволяют требуемые напоры воды).

Процессы окисления и задержания железа (в коллоидной форме гидроксида железа) в фильтрах происходят одновременно и непосредственно в толще загрузки. Для успешного протекания этих процессов продолжительность от аэрации воды до фильтрования и задержания железа в толще загрузки должна быть не более двух минут, иначе может происходить об-

разование гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в минерализованной форме, который уже не задерживается в фильтре.

При повышенной концентрации растворенной углекислоты, пониженной щелочности удаление железа производится с применением глубокой аэрации воды. Для открытых фильтров применяют барботажные и пленочные дегазаторы (см. раздел 9.2.) или контактные градирни, состоящие из 3...4 ярусов, на которых расположены резервуары с дырчатым днищем, заполненные коксом (наиболее эффективно) или крупными кусками инертных материалов, фракцией 30...50 мм. Расчет этих сооружений производится по требуемой степени удаления CO_2 . Недостатком работы является то, что со временем насадка или загрузка забивается железистыми соединениями, т.е. через определенный промежуток времени она должна быть выгружена, промыта и опять загружена в сооружения.

Если применяются напорные фильтры, то их устраивают в две ступени, первая – контактная для связывания свободной углекислоты и окисления железа и вторая – осветлительная для задержания гидроксида железа. В фильтрах первой ступени используют загрузку из активных углей (АГ-3, сульфоуголь), а второй – песок, но более мелкой фракции (0,6...0,8 мм) для задержания гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в минерализованной форме.

Как вариант совместного использования упрощенной и глубокой аэрации может применяться метод «сухой» фильтрации, который заключается в фильтровании водовоздушной эмульсии (3...5 объемов воздуха на 1 объем воды) через полузатопленную загрузку. Аэрация воды происходит в порах верхнего слоя загрузки путем образования в них вакуума или нагнетания больших количеств воздуха с последующим отсосом из поддонного пространства. В фильтрующей загрузке образуется турбулентный режим движения смеси, характеризующийся завихрениями и противотоками, что способствует контакту воды с поверхностью зерен загрузки на молекулярном уровне. На зернах загрузки формируется адсорбционно-каталитическая пленка из соединений железа (магнетита, сидерита, гетита и др.) и марганца (если он присутствует в воде). Прирост потерь напора в фильтрах по методу «сухой» фильтрации незначительный, поэтому расчет фильтров производится так, чтобы продолжительность фильтроцикла составляла от нескольких месяцев до года. Основной расчетной величиной является грязеемкость фильтра, которая, например, для песка принимается в зависимости от исходного состава воды 30...75 кг задержанного железа на 1 м^3 загрузки.

Для обезжелезивания подземных вод в тех случаях, когда применение аэрационных методов может быть недостаточно, дополнительно используются реагентные методы, которые являются очень эффективными, но и дорогими, что ограничивает их самостоятельное применение (только при соответствующем обосновании). В качестве окислителей применяются хлор, озон (ввиду дороговизны получения практически не используется), но наиболее часто – перманганат калия KMnO_4 . Дозу хлора принимают равным $0,7(\text{Fe}^{2+})$ мг/л, а перманганата калия – (Fe^{2+}) мг/л. Ввод растворов реагентов в обрабатываемую воду производится после ее аэрации перед фильтрованием.

Хлорирование осуществляется по той же технологии, как и при обеззараживании воды (см. тему 8).

Раствор перманганата калия концентрацией 0,5...2 % готовят в растворных баках с гидравлическим перемешиванием, которых должно быть не менее двух. Продолжительность полного растворения реагента при температуре воды до 20 °С – 4...6 ч, а при 40 °С – 2...3 ч.

При использовании раствора KMnO_4 обработку воды производят двумя способами. Первый – раствор подают постоянно с контролем состояния формы и остаточного содержания железа, второй – подачу раствора осуществляют прерывистым (контактным) способом, т.е. какой-то период подают раствор (от нескольких часов до нескольких суток), а затем 1...2 месяца фильтры работают самостоятельно и т.д. Загрузка фильтров часто принимается из кварцевого песка. Тогда на поверхности зерен загрузки образуется каталитическая пленка, состоящая из соединений железа и марганца, которая более эффективно участвует в окислении железа в течение длительного периода, но со временем ее окислительные свойства уменьшаются, и поэтому нужно опять подавать раствор KMnO_4 для зарядки этой загрузки. Песок приобретает цвет от зеленого до черного и поэтому получил название «черный» или «зеленый» песок. На основании такой схемы обработки воды за рубежом появился большой модельный ряд загрузок, материал которых обработан рядом растворов различных окислительных веществ, но чаще всего растворами KMnO_4 .

В некоторых случаях вместо обработки воды раствором KMnO_4 применяют ее непосредственное фильтрование на скорых фильтрах, но с загрузкой из сульфоугля, зерна которого покрыты пленкой окислов марганца, или обедненных марганцевых руд, например, дробленого пиролюзита, которые являются отличными катализаторами для быстрого окисления железа даже при низких значениях величины рН.

Для поверхностных вод удаление железа часто является сопутствующим процессом при их осветлении и обесцвечивании.

Наиболее полно железо удаляется известкованием воды, в данном случае этот метод является универсальным. Основная цель – поднять величину рН свыше 8,5, при которой происходит быстрый переход Fe^{2+} в Fe^{3+} . Доза извести (мг/л) только для удаления железа определяется по формуле

$$D_{\text{CaO}} = 28 \left(\frac{\text{CO}_2}{22} + \frac{\text{Fe}^{2+}}{28} + \frac{D_k}{e_k} \right),$$

где CO_2 – концентрация свободной углекислоты в исходной воде, мг/л; Fe^{2+} – концентрация свободного железа в исходной воде, мг/л; D_k – доза коагулянта, мг/л; e_k – эквивалентная масса принятого коагулянта, мг/мг-экв.

Для обработки воды применяется 5 %-ный раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а раствор коагулянта используется для выделения трехвалентного железа и его задержания, как правило, по двухступенчатой схеме очистки. Очень часто известкование (раздельное или совместно с содой) применяется при умягчении или обессоливании воды как предварительная стадия ее обработки в осветлителях или контактных реакторах с последующим фильтрованием.

Обезжелезивание воды катионированием допускается применять при необходимости одновременного удаления солей железа и жесткости, когда в воде отсутствует растворенный кислород.

С 90-х годов в Республике Беларусь широко стали применять после упрощенной аэрации биологический метод обезжелезивания воды на скорых фильтрах, сущность которого заключается в том, что биохимические процессы идут непосредственно в песчаной загрузке. При этом на песке образуется сообщество железо-марганцевокислых бактерий в виде биомассы (биологическая активная загрузка – БАЗ), сам песок практически не участвует в процессе обезжелезивания, т.е. является поддерживающим слоем и средой обитания биомассы.

При промывке фильтра избыточная биомасса удаляется из него. Пока еще не определены условия применения этого метода для обезжелезивания воды, часто в начале работы фильтров идут активные биохимические процессы, но впоследствии происходит их затухание с преобладанием автокаталитических процессов. Следует учитывать, что любые биохимические процессы приводят к дестабилизации воды.

В настоящее время в Республике Беларусь появились предприятия и организации частного характера, которые, хотя и не всегда успешно (у каждого предприятия имеются отрицательные примеры работы установлен-

ного оборудования), но на достаточно высоком уровне решают вопросы обезжелезивания воды населенных мест. К таким можно отнести УП «Полимерконструкция», «Фортекс», «Евровода», «Вода XXI век».

9.4. Деманганація воды

Избыток марганца в воде вызывает окраску и вязущий привкус, заболевание костной системы, способствует развитию марганцевокислых бактерий.

Установлена предельно допустимая концентрация марганца в питьевой воде – 0,1 мг/л [3, 7, 18]. Эти значения соответствуют рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и других стран, например, США. Наиболее жесткие нормы приняты в Швеции и в некоторых странах ЕС – до 0,05 мг/л.

Методы удаления марганца из воды подземных источников во многом схожи с ее обезжелезиванием аэрацией и реагентной обработкой и основаны на окислении примесей, содержащих ионы марганца (II), до марганца (III) и марганца (IV), образующих гидрооксиды, растворимость которых при $\text{pH} > 7$ меньше 0,01 мг/л. Часто задачи удаления железа и марганца из воды решаются совместно. Для этого применяют различные окислители: перманганат калия, озон, хлор и его производные, кислород воздуха. Кроме того, удаление марганца из воды может быть достигнуто с помощью ионного обмена (водород- или натрий-катионированием), при умягчении известково-содовым методом, при фильтровании воды через загрузку из марганцевого цеолита, биохимическими и другими методами. Все они могут быть классифицированы как безреагентные и реагентные, окислительные и сорбционные, ионообменные и биохимические.

К числу безреагентных методов удаления марганца из воды следует отнести: глубокую аэрацию с последующим отстаиванием (вариант) и фильтрованием на скорых осветлительных фильтрах с сорбцией марганца на свежесформованных осадках гидрооксида железа и магния, а также метод «Виредокс».

К реагентным методам деманганації воды, прежде всего, относят окислительные с использованием перманганата калия, хлора и его производных, реже – озона и технического кислорода. К ним также относятся и методы, предусматривающие использование щелочных реагентов, например, известкование.

Удаление марганца методом глубокой аэрации с последующим фильтрованием предусматривает первоначальное извлечение из воды под вакуумом свободной углекислоты (pH повышается до 8...8,5), которое

производится в вакуумно-эжекционном аппарате с последующим насыщением обрабатываемой воды кислородом воздуха в его эжекционной части, ее диспергированием до капельного состояния и фильтрованием через зернистую загрузку. Технологическая схема состоит из скорых осветлительных фильтров, над зеркалом воды которых размещены напорные вакуумно-эжекционные аппараты. Метод применим при окисляемости исходной воды до 9,5 мг O₂/л. Подобная технология позволяет успешно решать задачи не только деманганации и обезжелезивания, но и дегазации воды.

Необходимым условием рассматриваемого метода деманганации воды является присутствие в ней железа (II), которое при окислении растворенным кислородом образует гидроксид железа (III), адсорбирующий на поверхности марганец (II) и каталитически влияющий на его окисление. Процесс успешно протекает при рН аэрированной воды ниже 8,5 и величине $E \leq 0,4$ В.

Производственные эксперименты, выполненные Г.И. Николадзе, А.И. Назаровым и В.Б. Викулиной на пяти артезианских водоисточниках, показатели качества воды которых характеризовались: рН = 7...7,4, общая жесткость – до 7 мг-экв/л, щелочность – 4 – 6 мг-экв/л, окисляемость – до 8,1 мг/л O₂, сухой остаток – 0,5...0,76 г/л, $E = 0,21...0,39$ В, содержание свободной углекислоты – до 6,5 мг/л, содержание общего железа – до 6,3 мг/л, марганца (II) – до 0,76 мг/л, подтвердили целесообразность использования данного метода для получения питьевой воды. Следует отметить, что соотношение концентраций железа (II) и марганца (II) в исходной воде должно быть не менее 7:1.

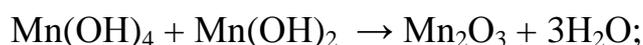
При фильтровании происходят следующие процессы. Поверхность песка при величине рН ≈ 7 имеет малый электрический отрицательный заряд и поэтому обладает слабыми сорбционными свойствами по отношению к ионам марганца (II) и железа (II), имеющими положительный заряд. С ростом рН эти свойства усиливаются. При фильтровании через песок сначала происходит адсорбция ионов железа (II) и марганца (II) поверхностью его зерен. Под действием растворенного в воде кислорода ион железа (II) окисляется до железа (III), который, гидролизуясь, образует на поверхности зерен загрузки качественно новый сорбент, состоящий из соединений железа, для сорбции ионов марганца (II). Следует учесть, что этим же сорбентом также сорбируется часть растворенной в воде свободной углекислоты, но при этом величина рН понижается, ухудшая эффект очистки.

Достоинством этого метода очистки является возможность удаления марганца не только из вод, в которых он присутствует совместно с желе-

зом, но и из вод, где железо отсутствует, создавая необходимые условия для адсорбции ионов марганца (II) путем добавления в воду железного купороса, одного из самых дешевых реагентов.

Удаление марганца из подземных вод в пласте может быть достигнуто при условии достаточно высокого значения рН. При введении в подземный поток воды, содержащей растворенный кислород, достигается оксидация железа (II) и марганца (II) и их задержание в порах водоносных пород. По Р.Л. Енукидзе, на процесс деманганации и деферризации воды по этому методу существенное влияние оказывают железо- и марганцевобактерии. Метод экономичный, относительно простой, однако не всегда обеспечивающий надлежащую глубину деманганации воды. Считается целесообразным его использование при содержании марганца в подземной воде до 1,5 мг/л, при высоком рН на фильтрах с загрузкой их крупнопористыми породами.

Посредством использования катализаторов оксидации марганца установлено, что предварительно осажденные на поверхности зерен фильтрующей загрузки оксиды марганца оказывают каталитическое влияние на процесс окисления иона марганца (II) растворенным в воде кислородом. При фильтровании аэрированной и обработанной щелочью (при низких рН) воды, содержащей марганец, через песчаную загрузку по прошествии некоторого времени на поверхности зерен песка образуется слой, состоящий из отрицательно заряженного осадка гидроксида марганца $Mn(OH)_4$, который адсорбирует положительно заряженные ионы марганца (II). Гидролизуясь, эти ионы реагируют с осадком $Mn(OH)_4$, образуя сначала хорошо окисляемый полутороксид Mn_2O_3 , а затем опять $Mn(OH)_4$ по реакциям:



Таким образом, в результате снова образуется гидроксид марганца (IV), который опять участвует в процессе окисления в качестве катализатора. Использование этого свойства оксидов марганца дало возможность применить в практике кондиционирования воды метод ее фильтрования через песок, зерна которого предварительно покрыты пленкой оксида марганца (так называемый «черный песок»). Для этого обычный кварцевый песок крупностью 0,5...1,2 мм обрабатывают последовательно 0,5 % раствором хлорида марганца и перманганата кальция. При использовании такой загрузки фильтров окисление марганца растворенным в воде

кислородом воздуха возможно осуществить при значениях рН, значительно меньших, чем обычно.

В практике водоподготовки за рубежом в качестве катализатора окисления марганца кислородом воздуха или хлором получили распространение соли меди, медно-никелевые сплавы.

Наиболее эффективным и простым технологическим методом удаления марганца из вод поверхностных и подземных источников в настоящее время является обработка их перманганатом калия. Этот метод может быть применен на очистных комплексах любой производительности при любом качестве исходной воды; существенного изменения технологической схемы при этом не происходит. На удаление 1 мг Mn^{2+} расходуется 1,88 мг $KMnO_4$.

Деманганация воды перманганатом калия основана на его способности окислять марганец (II) с образованием малорастворимого осадка оксида марганца:



Очень важным аспектом является то, что дисперсный осадок оксида марганца MnO_2 , имея большую удельную поверхность порядка 300 м²/г, является эффективным сорбентом. При обработке воды перманганатом калия снижение привкусов и запахов происходит также вследствие частичной сорбции органических соединений образующимся мелкодисперсным хлопьевидным осадком гидрооксида марганца. Кроме того, осадок оксида марганца, как это указывалось выше, обладает каталитическими свойствами по отношению к процессу окисления иона марганца (II) кислородом воздуха.

Применение перманганата калия дает возможность удалить из воды как марганец, так и железо, независимо от форм их содержания в воде. В водах с повышенным содержанием органических веществ железо и марганец образуют устойчивые органические соединения (комплексы), медленно и трудно удаляемые при обычной обработке хлором и коагулянтном. Применение перманганата калия, сильного окислителя, позволяет разрушить эти комплексы с дальнейшим окислением ионов марганца (II) и железа (II) и коагуляцией продуктов окисления. Кроме того, коллоидные частицы гидрооксида марганца $Mn(OH)_4$ в интервале рН = 5...11 имеют заряд, противоположный зарядам коллоидов коагулянтов $Al(OH)_3$ и $Fe(OH)_3$, поэтому добавление перманганата калия к воде интенсифицирует процесс коагуляции. Таким образом, перманганат калия, оказывая совокупное действие как окислитель, сорбент и вспомогательное средство коагуляции, является высокоэффективным реагентом для очистки воды от целого ряда

загрязнений, в том числе и от марганца. Остаточное содержание марганца в воде, как правило, не превышает 0,1 мг/л, а после фильтрования на песчаных фильтрах она практически не содержит ионов марганца (II), одновременно наблюдается полное удаление железа. Разработана технология применения перманганата калия для удаления марганца, а также привкусов и запахов воды в промышленном производстве. Достоинством этого метода является возможность использования его на уже действующих сооружениях очистки без изменения существующей технологической схемы.

На фильтровальных комплексах очистки воды из поверхностных источников раствор перманганата калия вводится в воду до коагулирования в смеситель или на насосной станции I подъема. При удалении марганца из подземных вод для увеличения продолжительности фильтроцикла одновременно с раствором $KMnO_4$ в обрабатываемую воду рекомендуется вводить активированную кремнекислоту в количестве 3...4 мг/л или флокулянт К-4. В этом случае укрупняются хлопья образующихся при оксидации соединений марганца (IV), которые медленнее проникают в фильтрующую загрузку.

Метод фильтрования азрированной воды через загрузку, обработанную оксидами марганца, имеет недостаток, заключающийся в постепенном измельчении частиц, образующих покрытие зерен загрузки, и проскоке их в фильтрат. Попытки исправить этот недостаток заключались в растворении этих частиц до того, как они обретали способность проскакивать в фильтрат, что усложняло процесс очистки воды. Другим недостатком деманганаии – фильтрования через «черный песок» – является значительный расход перманганата калия. Для исключения указанных недостатков производят деманганаию воды фильтрованием через модифицированную загрузку, приготовляемую последовательным пропуском снизу вверх через кварцевый песок растворов железного купороса и перманганата калия, что позволяет достичь экономию последнего [3, 4]. Для закрепления образующейся пленки из гидрооксида железа и оксида марганца на зернах фильтрующей загрузки последнюю затем дополнительно обрабатывают тринатрийфосфатом или сульфитом натрия. Обрабатываемая вода фильтруется сверху вниз со скоростью 8...10 м/ч. Производственные испытания указанного метода подтвердили его универсальность и высокие технико-экономические показатели.

Очистка воды от марганца (II) с использованием сильных окислителей (хлор, озон, оксид хлора) прежде всего зависит от величины рН среды. Хлор является сильным окислителем, но при рН = 7 окисляет марганец (II) за 60...90 мин всего на 50 %, а при рН = 8...8,5 эффект окисления

им марганца за это время может быть достаточно полным, однако практически всегда необходимо проводить дополнительно подщелачивание воды. На окисление 1 мг Mn^{2+} в Mn^{4+} требуется 1,3 мг хлора. Экспериментальные исследования показали, что в отсутствие ионов NH_4^+ при $pH = 8$ окисление марганца (II) хлором за 60...90 мин завершается полностью, остаточное содержание марганца в воде составляет 0,05...0,1 мг/л. Остаточное содержание марганца (II) в воде, подвергнутой хлорированию и фильтрованию, через 60 мин при исходной концентрации марганца 10 мг/л составило: при $pH = 9$ – 5 мг/л; при $pH = 9,45$ – 1,3 мг/л; при $pH = 10$ – менее 0,02 мг/л, т.е. эффект окисления хлором был намного ниже эффекта окисления кислородом воздуха в присутствии катализатора. Окисление марганца (II) озоном или оксидом хлора (IV) при $pH = 6,5...7,0$ завершается в течение 10...15 мин, при этом расход озона составляет 1,45, а оксида хлора (IV) – 1,35 мг/мг марганца (II).

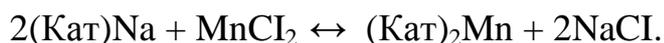
Исследования А.И. Назарова показали, что слабый окислитель (кислород) в присутствии более сильного (хлора) активизируется. Это позволило разработать технологию деманганации воды, сущность которой сводится к глубокой аэрации воды, что влечет за собой повышение pH , обогащение воды кислородом воздуха, окисление железа (II) с образованием гидроксида. Затем в «водяную подушку» фильтра вводится хлор, действующий как окислитель и как катализатор окислительного действия растворенного кислорода. В результате в поровом пространстве фильтрующей загрузки формируется гидроксид железа (II). Образующийся оксид марганца (IV) также катализирует процесс окисления марганца (II).

Изучение процессов окисления иона марганца (II) озоном показали (М. Ульд), что расход озона на 1 мг марганца составил: при концентрации марганца 0,4 мг/л – 2 мг и при концентрации 0,8 мг/л – 4 мг. Объяснить этот факт можно каталитическим разложением озона мелкодисперсной агрегативно-устойчивой взвесью оксидов марганца, образующихся в процессе озонирования воды. Удаление взвеси происходит эффективно после коагулирования и фильтрования. Без коагулирования (просто фильтрованием) взвесь удаляется незначительно. Обнаружено, что взвесь оксидов железа, образующаяся в первую очередь, также является катализатором распада озона. В связи с этим очистку вод, содержащих одновременно большое количество железа (II) и марганца (II), предлагается производить в две стадии: на первой осуществляется окисление железа (II) и выделение его из воды, на второй – окисление марганца (II) озоном, коагулирование, отстаивание и фильтрование. Очевидно, что известная громоздкость этой

технологической схемы может быть оправдана лишь для водопроводов большой производительности, в основном при заборе воды из поверхностных источников. Несмотря на свою высокую эффективность, озон используют редко из-за высокой стоимости и сложности эксплуатации озонаторных установок.

Оксид хлора ClO_2 также является сильным окислителем, однако использование этого реагента затруднено из-за необходимости применения сложных в строительстве и эксплуатации установок, что особенно невыгодно на сооружениях очистки подземных вод небольшой производительности, которые составляют большинство.

При необходимости умягчения воды (основной процесс – удаление Ca^{2+} и Mg^{2+}) удаление марганца (II) и железа (II) в ней производится попутно натрий- или водород-катионированием (вариант). Метод является высокоэффективным и основан на применении катионного зернистого материала (чаще в натрий-форме) в качестве загрузки фильтров (сульфуголь, ионообменные смолы):



Регенерируется катионит 4...8 % раствором NaCl с одновременной подачей 0,5...1 % раствора KMnO_4 в течение 20...30 минут. Общее время на регенерацию катионита, включая взрыхление и отмывку, должно быть $\leq 1,5$ ч.

Биохимический метод удаления марганца (рис. 9.7) заключается в высеивании на зернах загрузки фильтра марганцевокислых бактерий и последующем фильтровании обрабатываемой воды. Эти бактерии поглощают марганец из воды в процессе жизнедеятельности, а отмирая, образуют на зернах песка пористую массу, содержащую большое количество оксида марганца, служащего катализатором оксидации марганца (II). При скорости фильтрования до 22 м/ч фильтры полностью удаляют из воды марганец.

Т.П. Пейчевым предложен метод удаления марганца на биофильтрах с последующим фильтрованием на обычных скорых фильтрах. Испытывалась артезианская вода с содержанием железа 3,75...9,0 мг/л и марганца 0,2 мг/л. Для очистки воды от железа и марганца использовались двухступенчатые биофильтры.

Первая ступень предназначалась для удаления железа и состояла из двух слоев керамзита и кварцевого песка: нижнего высотой 0,8 м и крупностью 1...2 мм и верхнего высотой 1,05 м и крупностью 1,5...2,5 мм. Вторая ступень предназначалась для удаления марганца, загрузка биофильтров состояла из песка крупностью 1,5...2,5 мм высотой 1,4 м. При скорости фильтрования 16...28 м/ч достигалось стабильное снижение со-

держания железа до 0,1...0,2 мг/л, марганца – до 0,02...0,05 мг/л. Продолжительность фильтроцикла (до достижения сопротивления 0,08 – 0,1 МПа) составляла 40...100 ч в зависимости от скорости фильтрования. Для интенсификации процессов очистки на биофильтры подавался кислород.

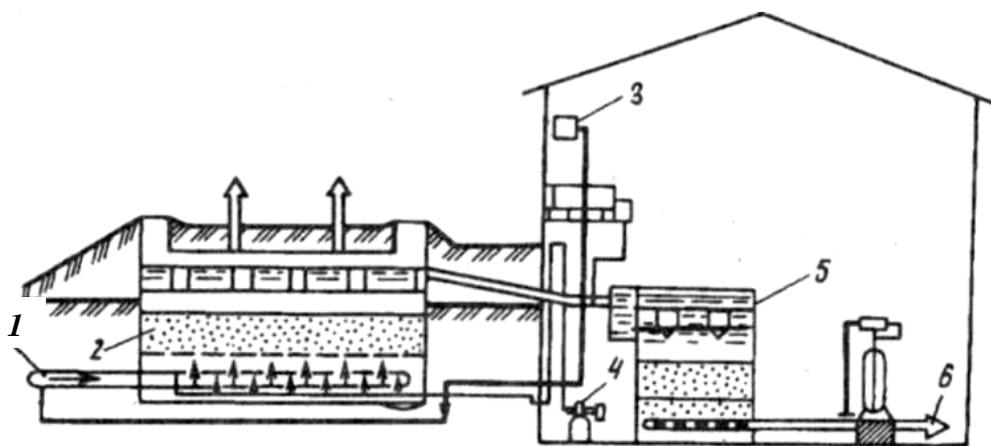


Рис. 9.7. Установка биохимической деманганации воды: 1, 6 – подача исходной и отвод обработанной воды; 2 – реактор биохимического окисления; 3 – приготовление раствора триполифосфата натрия; 4 – воздуходувка; 5 – скорый фильтр

Из сказанного следует, что для деманганации подземных вод наибольший интерес представляют метод сорбции на гидроксиде железа (III), фильтрование через модифицированную загрузку и биохимический метод.

9.5. Фторирование (фторидирование) воды

Фтор относится к микроэлементам, недостаток или избыток которого в воде оказывает влияние на организм человека.

Фтор как весьма активный в биологическом отношении микроэлемент с начала 30-х годов нынешнего столетия привлек особое внимание гигиенистов, стоматологов, токсикологов, химиков, геохимиков и других специалистов. Интерес к фтору начал проявляться с 1931 г., когда было доказано, что причиной эпидемий «пятнистой эмали» зубов является повышенное содержание фтора в питьевой воде. Это открытие стимулировало изучение эндемического флюороза во всем мире.

Пониженное содержание фтора приводит к кариесу зубов. Выяснилось, что противокариесное действие оптимальных концентраций фтора распространяется как на молочные, так и на постоянные зубы всех возрастных групп населения. Эти сведения позволили утверждать о целесообразности искусственного обогащения питьевой воды фтором. Фторирование воды начало осуществляться с 1945 г., причем с 1957 г. впервые в истории

развития водоснабжения в СССР фторирование воды (г. Норильск) стало рассматриваться как мера профилактики заболеваний кариесом зубов. Но целесообразность этого постоянно подвергается сомнению. Есть мнение [7, 12], что вносить фтор в организм человека необходимо не с водой, а при чистке зубов фторидированными зубными пастами или применением фторированной и йодированной поваренной соли. Таким образом, в настоящее время решение о фторировании воды принимается в каждом конкретном случае.

Концентрацию фтора в воде хозяйственно-питьевого назначения устанавливают местные санитарные органы. Принято считать, что она должна находиться в пределах 0,5...1,5 мг/л, меньшее значение вызывает возникновение кариеса зубов, большее – эндемического флюороза. Более низкие концентрации фтора принимают при фторировании в южных районах и в летний период, когда количество воды, поступающей в организм человека, увеличивается. Более высокие концентрации фтора принимают при фторировании воды в северных районах и в зимний период, т. е. при более низкой температуре окружающей среды. Необходимость дополнительного внесения фтора в организм человека определяется его содержанием в воде хозяйственно-питьевого назначения концентрацией менее 0,5 мг/л.

Для систем хозяйственно-питьевого назначения в Республике Беларусь вопрос восполнения фтора для организма человека является актуальным, т.к. большинство источников водоснабжения (поверхностные и подземные) имеют его пониженную концентрацию 0,1...0,3 мг/л.

При положительном решении вопроса фторирования питьевой воды широко используются ряд фторсодержащих соединений, таких, как кремнефтористый натрий NaSiF_6 , кремнефтористая кислота H_2SiF_6 , фтористый натрий NaF , кремнефтористый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$, фтористый кальций CaF_2 , фтористоводородная кислота HF , кремнефтористый калий K_2SiF_6 , кремнефтористый алюминий $\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$, фтористый алюминий AlF_3 и ряд других.

В отечественной практике наиболее широкое применение получил кремнефтористый натрий, менее широкое – фтористый натрий.

Кремнефтористый натрий выпускается в виде мелкого кристаллического порошка белого цвета (негигроскопический, допускается серый или желтый оттенок), без запаха, удобен в эксплуатации. При длительном хранении на складе в закрытых бочках не слеживается. Плотность насыщенного раствора – 1,0054, рН насыщенного раствора – 3,5...4,0. В воде растворяется плохо. Кремнефтористый натрий упаковывается заводами-

поставщиками в фанерные барабаны объемом до 50 л или в деревянные бочки вместимостью 40...50 л, выложенные внутри крафт-бумагой.

Фтористый натрий представляет собой порошок белого или светло-серого цвета без запаха. На водоочистных комплексах растворимость его составляет около 4 % и с изменением температуры воды меняется незначительно. Реагент упаковывают в стальные шивные барабаны, плотные сухотарные деревянные бочки или фанерные барабаны и делают надпись: «Опасно. Яд».

Кремнефтористоводородная кислота, являясь промежуточным продуктом в производстве фторсодержащих солей, выпускается в виде 8...14 %-ного раствора. В безводной форме она неизвестна. Это бесцветная, прозрачная, коррозионная жидкость с едким запахом, оказывающая раздражающее действие на кожу. Опыт показал, что ее применение для фторирования воды на установках малой производительности нецелесообразно, так как требуется разбавление кислоты водой, а при этом выпадает осадок, забивающий насосы, арматуру и трубы. Чтобы этого избежать, к кремнефтористоводородной кислоте добавляют небольшое количество фтористоводородной кислоты, что осложняет технологию использования этого метода.

Кремнефтористый аммоний представляет собой кристаллическое вещество белого цвета с розоватым или желтоватым оттенком без запаха. Недостатком этого реагента является его слеживаемость. Даже при кратковременном хранении он превращается в довольно плотные комья. Это свойство продукта вызывает необходимость дополнительных мероприятий при использовании его в качестве реагента: он нуждается в сушке и дроблении, что создает дополнительные трудности в эксплуатации и увеличивает эксплуатационные расходы. Стоимость его ниже стоимости фтористого натрия. Реагент упаковывают в фанерные барабаны вместимостью до 50 л или деревянные бочки объемом 40...50 л, выложенные внутри крафт-бумагой, бумажные мешки массой до 50 кг. На каждом барабане или бочке должна быть надпись: «Яд!». Барабаны, бочки и мешки с кремнефтористым аммонием должны храниться в сухом месте.

Применяемые на практике установки по технологии приготовления растворов фторсодержащих соединений можно классифицировать следующим образом.

Во фтораторных установках сатураторного типа (рис. 9.8) в качестве реагента принят порошкообразный кремнефтористый натрий, который вводится в воду перед хлорированием в трубопровод фильтрата. Предва-

рительно реагент замачивают и размешивают в баке, а затем выливают через воронку в сатуратор (один раз в смену). В камере для реагента должно быть 8...10 кг кремнефтористого натрия. В основу работы фтораторной установки положен принцип объемного вытеснения.

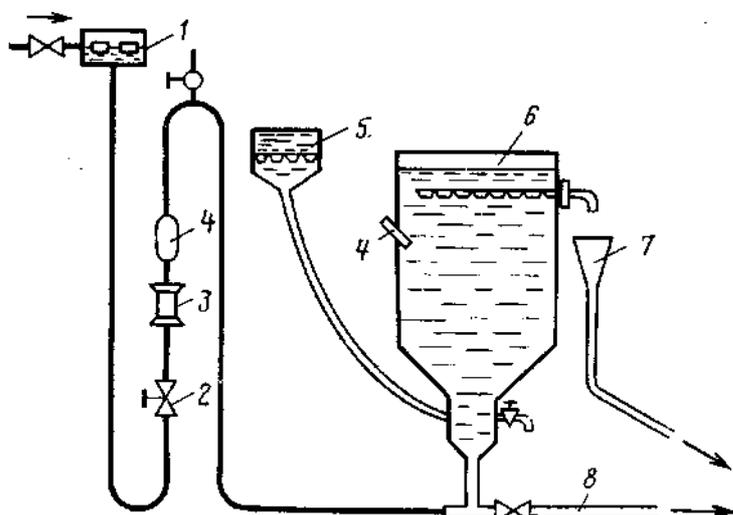


Рис. 9.8. Схема фтораторной установки с сатуратором:
 1 – бак постоянного уровня;
 2 – регулирующий вентиль;
 3 – ротаметр; 4 – термометр;
 5 – воронка приема реагента;
 6 – сатуратор одинарного насыщения; 7 – прием и отвод раствора реагента; 8 – сброс в канализацию

Во фтораторных установках с растворными баками (рис. 9.9) в качестве реагента также применяют кремнефтористый натрий. Его загрузку в баки осуществляют с помощью бункеров, оборудованных вибраторами и дозаторами барабанного типа. Для лучшего растворения реагента баки оборудованы мешалкой с частотой вращения 50...60 мин⁻¹. Время перемешивания и последующего отстаивания принимается по 2 ч. Концентрация раствора реагента в баках составляет 0,05 % по фтору или 0,08 % – по чистой соли.

Во фтораторных установках с затворно-растворными баками в качестве реагента принят фтористый натрий с расходом в сутки 20 кг. Установка состоит из системы баков: затворного – объемом 400 л, двух растворных – объемом 1500 л каждый, дозирующего бачка, снабженного поплавковым клапаном. Затворный и растворные баки оборудованы электро-мешалками. Растворяют фтористый натрий в воде, нагретой до 75...80 °С, для чего в затворный бак вмонтирован электронагреватель. Крепкий раствор переливают в расходный бак, предварительно на 1/3 наполненный водой, бак дополняют водой до нужной отметки, и раствор тщательно перемешивают.

После определения концентрации содержания фтора в растворе в лабораторных условиях последний через вентиль подают в дозирующий бак и затем в резервуар чистой воды.

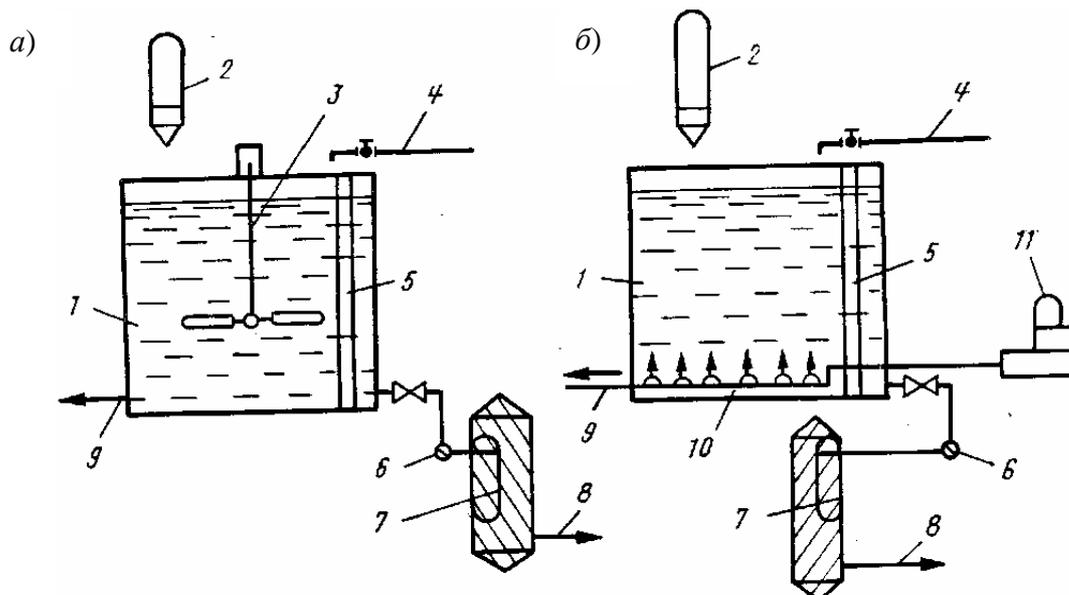


Рис. 9.9. Фтораторная установка с растворным баком: механическое побуждение (а); барботирование (б); 1 – растворный бак; 2 – бункер с дозирующим устройством; 3 – механическая мешалка; 4 – подача воды; 5 – поплавковое устройство; 6 – насос; 7 – напорный фильтр для осветления раствора фторсодержащего реагента; 8 – фторопровод; 9 – сброс осадка; 10 – воздухораспределительная система; 11 – воздуходувка

Фтораторные установки с применением 8 %-ного раствора кремнефтористоводородной кислоты показаны на рис. 9.10.

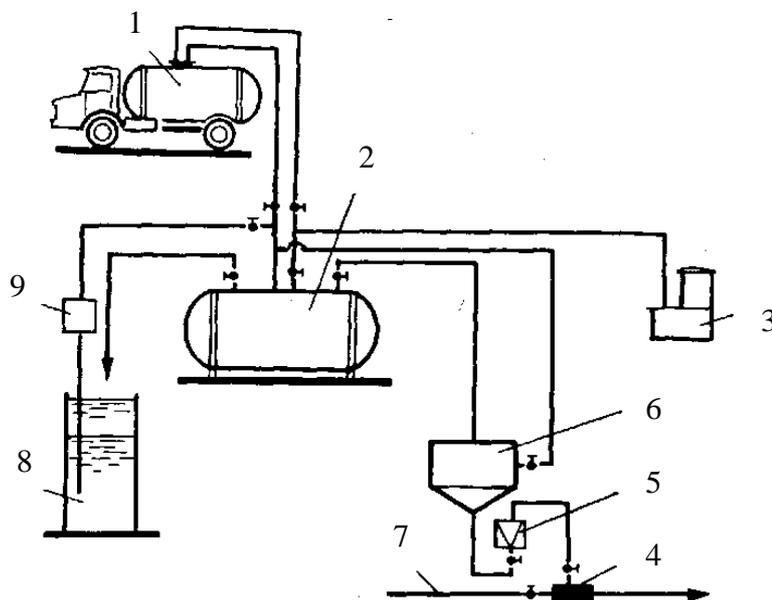


Рис. 9.10. Фтораторная установка с использованием кремнефтористоводородной кислоты: 1, 2 – авто- и стационарная цистерны; 3 – воздуходувка; 4 – эжектор; 5 – ротаметр; 6 – бак-мерник; 8 – емкость; 9 – ручной насос; 7 – водопровод

В зарубежной практике чаще всего фтористые соединения вводятся в воду в сухом (порошок) или в жидком виде с помощью дозаторов в смеси-

тельную камеру (рис. 9.11). Первый способ чаще применяют на водоочистных комплексах большой производительности, второй – на установках малой производительности. Дозаторы сухих реагентов применяют двух видов: объемные и массовые. Объемные дозаторы (рис. 9.11) подают определенный объем вещества за расчетный промежуток времени, массовые – массовое количество вещества. Основное отличие их состоит в следующем: объемные дозаторы, которые конструктивно проще и дешевле, имеют точность дозирования 3...5 %, массовые – 1%; массовые дозаторы легче оборудовать записывающим устройством для регистрации дозируемого реагента и устройством для автоматической подачи реагента в воду.

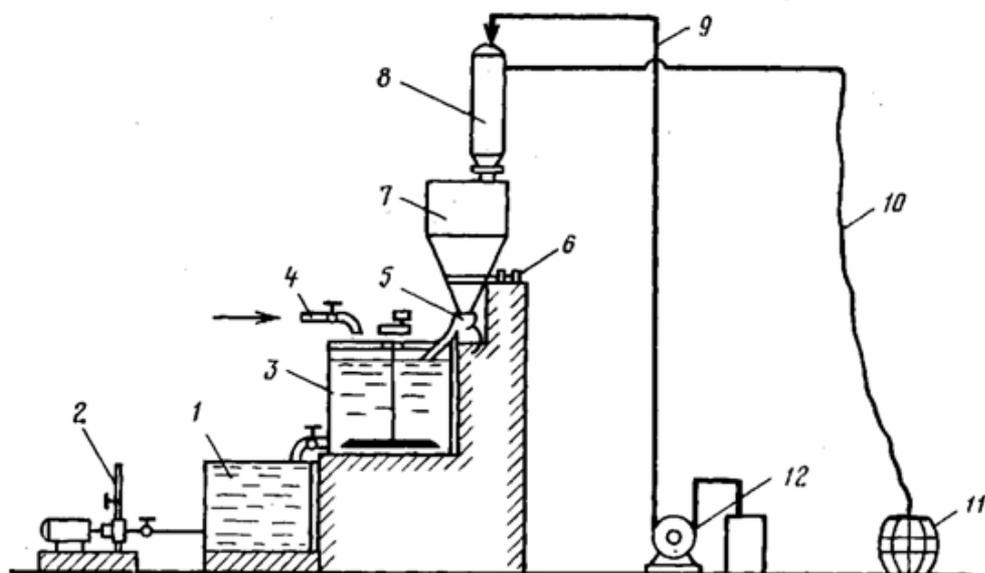


Рис. 9.11. Фтораторная установка сухого дозирования: 1 – расходный бак; 2 – насос-дозатор; 3 – растворный бак; 4 – водопровод; 5 – питатель ДУ-1; 6 – мешалка для ворошения порошка; 7 – бункер для хранения реагента; 8 – вакуум-бункер; 9 – вакуум-линия; 10 – трубопровод всасывания сухого реагента; 11 – бочка с реагентом; 12 – вакуум-насос

Важной и неотъемлемой частью сухих дозаторов является растворная камера. При непосредственном вводе сухих реагентов в воду они выпадают на дно нерастворенными. Максимальную концентрацию реагента в растворной камере принимают равной $1/4$ концентрации насыщенного раствора при обычной температуре воды. Вместимость растворных камер принимают не менее 20 л. Для более полного смешения реагента с водой и его лучшего растворения предусматривают электрические мешалки или форсунки. Для точного регулирования количества воды, поступающей в растворную камеру, применяют различные водомеры. Из камеры раствор вводят в обрабатываемую воду.

Так как фторирование воды требует высокой точности дозирования реагента ($\pm 5\%$), для его подачи в жидком виде совершенно непригодны краны и насадки. В основном для дозирования реагентов в жидком виде применяют насосы-дозаторы мембранного и поршневого типа.

Дозу фторсодержащего реагента (мг/л) находят по формуле

$$D_{\phi} = 10^4 \frac{m_{\phi} a_{\phi} - \Phi}{K_{\phi} C_{\phi}},$$

где m_{ϕ} – коэффициент, зависящий от места ввода фтора в обрабатываемую воду, принимаемый при вводе фтора после очистных сооружений равным 1,0, при вводе фтора перед контактными осветлителями или фильтрами – 1,1; a_{ϕ} – содержание фтора в обработанной воде, мг/л (оптимальная концентрация фтора в питьевой воде согласно указаниям местных санитарных органов); Φ – содержание фтора в исходной воде, мг/л, K_{ϕ} – содержание фтора в чистом реагенте, %, равное для кремнефтористого натрия 60,6, для кремнефтористого аммония – 63,9, для фтористого натрия – 45,25, C_{ϕ} – содержание чистого реагента в продажном техническом продукте, %, равное для кремнефтористого натрия высшего, I и II сортов соответственно 59,4; 57,5 и 56,4, для фтористого натрия – 42,5; 38; 36,2, а для кремнефтористого аммония, выпускаемого промышленностью одним сортом, – 59,4.

Как при мокром, так и при сухом дозировании реагенты в обрабатываемую воду подают в виде раствора. Место введения раствора реагента выбирают в зависимости от способа очистки воды и технико-экономических соображений, при этом должны быть соблюдены условия перемешивания реагента с питьевой водой и его наименьшие потери. При использовании артезианских вод, подаваемых потребителю без очистки, фтористые соединения поступают непосредственно в напорные водоводы. При небольшой нагрузке на фильтры фторсодержащие реагенты вводят перед фильтрами, при большой нагрузке – после фильтров в трубопровод между фильтрами и резервуаром чистой воды или непосредственно в резервуар чистой воды. В некоторых случаях идут на потери фторидов, если это экономически выгодно. Примером является фтораторная установка на водоочистном комплексе в Вашингтоне, где реагент вводят в неочищенную воду. Потери фтора составляют при этом 0,1 мг/л.

На большинстве водоочистных комплексов фторирование является последней стадией обработки воды (раствор фтора вводят после ее хлорирования), хотя хлор и фтор можно добавлять одновременно, т.к. хлорирование воды не удаляет фторидов.

Хлор и его производные оказывают одно неблагоприятное действие – они обесцвечивают реагенты, добавляемые при определении фторидов в воде, что может дать ошибку в определении концентрации фтора.

9.6. Технология дефторирования воды

Для удаления фтора из воды используют две группы методов.

1. Сорбция фтора осадком гидроксидов алюминия или магния, а также фосфата кальция, которые целесообразно применять при обработке поверхностных вод, когда, кроме обесфторивания, требуются еще осветление и обесцвечивание. Вместе с тем этот метод может найти применение для обработки подземных вод, когда, кроме обесфторивания, производят ее реагентное умягчение (рис. 9.12).

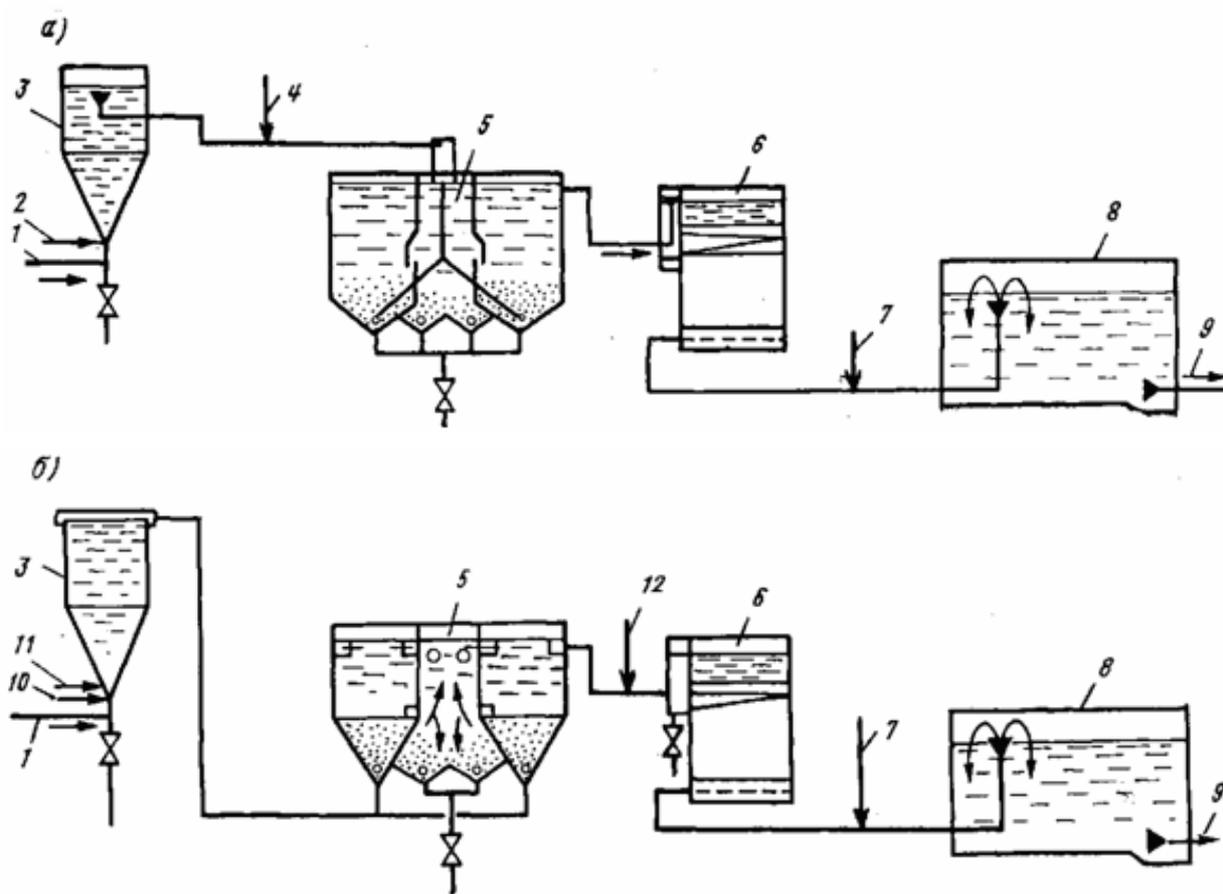


Рис. 9.12. Технологическая схема дефторирования воды свежесформованным гидроксидом магния (а) и солями алюминия (б); 1 и 9 – подача исходной и отвод обесфторенной воды, 2 – ввод щелочного реагента, 3 – смеситель, 4 – ввод солей магния, 5 – осветлитель со взвешенным осадком; 6 – фильтр; 7 – ввод хлора; 8 – резервуар чистой воды, 10 – подача кислоты; 11 – подача алюмосодержащего коагулянта; 12 – подача щелочного реагента

2. Метод фильтрования воды через фторселективные материалы, который основан на обменной адсорбции ионов, при этом фтор удаляется в процессе пропускания обрабатываемой воды через сорбент. Этот метод наиболее эффективен при обесфторивании подземных вод, как правило, не нуждающихся в других видах кондиционирования, или в тех случаях, когда одновременно с обесфториванием производят еще и ее опреснение (рис. 9.13).

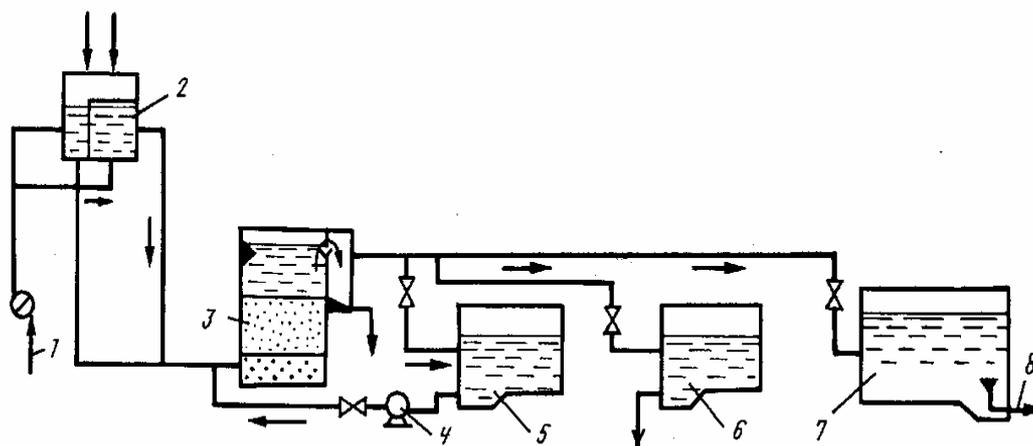


Рис. 9.13. Технологическая схема дефторирования воды фильтрованием через модифицированную загрузку: 1 – насос подачи исходной воды; 2 – промежуточная емкость; 3 – скорый фильтр или КО-3; 4 – промывной насос, бак; 5 – бак регенерационного раствора; 6 – резервуар обесфторенной воды; 7 – подача обесфторенной воды потребителю

Обесфторивание воды гидроксидом магния, который образуется в магнийсодержащей воде в присутствии извести, позволяет снизить содержание в воде и магния.

Остаточное содержание фтора в воде после ее известкования $\Phi_{ост}$ можно определить по формуле Скотта:

$$\Phi_{ост} = \Phi_{исх} - 0,07\Phi_{исх} \cdot (Mg^{2+})^{0,5},$$

где $\Phi_{исх}$ – содержание фтора в исходной воде, мг/л; (Mg^{2+}) – количество магния, удаленного из воды при ее известковании, мг/л.

Для снижения содержания фтора в воде на 1 мг требуется 50...60 мг магния или 100...150 мг $Mg(OH)_2$. При недостатке магния в исходной воде для повышения эффекта обесфторивания в нее вводят сульфат или хлорид магния. При избытке магния образующийся в результате взаимодействия гидроксида магния с фтором фторид магния переходит затем в малорастворимый оксифторид магния. Процесс сорбции фтора свежесформованным гидроксидом магния при $pH > 9,5$ протекает быстро и интенсивно, практически не зависит от температуры и заканчивается за 8...12 мин. Сорбционная способность гидроксида магния может быть использована

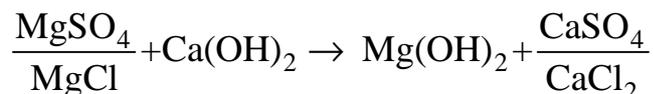
более полно путем пропуска обрабатываемой воды через его взвешенный слой. Скорость восходящего движения воды в осветлителях должна быть 0,2...0,3 мм/с. При этом концентрация взвешенных слое взвешенного осадка составит 1,6... 2 г/л. Высота слоя осадка принимается 2...2,5 м. Время пребывания воды в слое контактного осадка – не менее 1 ч. В этом случае расход магния на удаление 1 мг фтора значительно меньше – около 30 мг.

При недостатке в природных водах солей магния необходимое их количество для обесфторивания D_{Mg} , может быть подсчитано по формуле В.А. Клячко:

$$D_{Mg} = \mathcal{E}[2(\Phi_{исх} - 1) - \mathcal{J}_{Mg}],$$

где \mathcal{E} – эквивалентная масса вводимой в воду соли магния, мг-экв (для $MgSO_4$ – 60,2, для $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 123,25, для $MgCl_2$ – 47,7, для $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ – 101,65); $\Phi_{исх}$ – содержание фтора в исходной воде, мг/л; \mathcal{J}_{Mg} – магниезальная жесткость этой воды, мг-экв/л; 2 – расход солей магния, мг-экв/л, на удаление 1 мг фтора из 1 л обрабатываемой воды.

При этом необходимое количество извести D_{CaO} (мг/л) для осаждения гидроксида магния определяется химической реакцией



и может быть подсчитано по формулам:

– при $[Ca^{2+}] > Щ$

$$D_{CaO} = 28[2(Mg^{2+}) + \frac{(CO_2)}{22} + Щ + 1];$$

– при $[Ca^{2+}] < Щ$

$$D_{CaO} = 28[2(Mg^{2+}) + \frac{(CO_2)}{22} + (Ca^{2+}) + 1].$$

где D_{CaO} – доза извести, мг/л (считая на CaO); CO_2 – содержание свободной углекислоты в воде, мг/л; (Mg^{2+}) – содержание Mg , мг-экв/л, в обрабатываемой воде после введения в нее количества магния, необходимого для сорбции фтора; (Ca^{2+}) – содержание в исходной воде кальция, мг-экв/л; $Щ$ – щелочность исходной воды мг-экв/л.

Технологическая схема установки для обесфторивания природных вод сорбцией на гидроксида магния состоит из вертикального смесителя, осветлителей со слоем взвешенного осадка с коническими или пирамидальными днищами и скорых осветлительных фильтров (см. рис. 9.13).

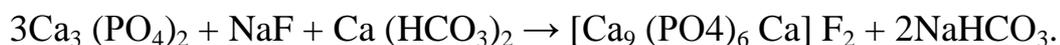
Обесфторивание воды солями алюминия основано на сорбции фтора осадком гидроксида алюминия. Это связано с образованием на поверхно-

сти твердой фазы малорастворимых фторидов. При этом эффективность процесса находится в обратной зависимости от рН воды. По мере снижения рН воды при постоянной дозе сульфата алюминия эффективность обесфторивания возрастает, что объясняется неоднородностью состава осадков при гидролизе сульфата алюминия и различных значениях величины рН.

При низких значениях рН в осадке преимущественно образуется основной сульфат алюминия – $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$, эффективность обесфторивания возрастает, уменьшается содержание в нем гидроксида алюминия, который сорбирует фтор в меньшей степени, чем основной сульфат алюминия. По данным В.В. Ломако, для обесфторивания воды при значениях рН, близких к нейтральным, требуются очень большие дозы сернокислого алюминия. Поэтому удаление фтора из воды этим способом наиболее целесообразно вести при $\text{pH} = 4,3 \dots 5,0$. При таких значениях расход сульфата алюминия на 1 мг удаленного фтора составит 25...30 мг/л. Следовательно, обесфторивание воды гидрооксидом алюминия требует ее предварительного подкисления с последующим подщелачиванием для снижения коррозионного действия воды.

Технологическая схема состоит из вертикального смесителя, осветлителей со взвешенным осадком и скорых осветлительных фильтров. Раствор кислоты для подкисления вводится перед смесителем, сульфат алюминия – в смеситель, а известь для подщелачивания воды – перед фильтрами. Большие расходы кислоты и извести, а также необходимость точного дозирования реагентов делают этот метод обесфторивания воды дорогим и сложным в эксплуатации.

Удаление фтора из воды с помощью трикальцийфосфата (гидроксил-апатита) основано на сорбции свежееобразованным трикальцийфосфатом, который связывает имеющийся в воде фтор в малорастворимое соединение $[\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6\text{Ca}]\text{F}_2$, выпадающее в осадок. Расход трикальцийфосфата на удаление 1 мг фтора составляет 23...30 мг. Этот процесс описывается следующей реакцией:



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 качестве технологической рекомендуется схема, представленная на рис. 9.12. Для получения гидроксил-апатита в вертикальный смеситель вначале вводят известь, а затем раствор ортофосфорной кислоты. После этого вся масса воды передается в осветлитель и поступает в слой взвешенного осадка. Здесь протекает основная часть процесса, образуется малорастворимый фторид, который в

осадкоуплотнителе выпадает в осадок. Весь цикл обработки воды заканчивается на скорых осветлительных фильтрах, где она освобождается от мелких хлопьев, не выпавших в осадок в осветлителе. После этого вода подвергается обеззараживанию, аккумулируется в резервуарах и насосами II подъема подается в сеть потребителя.

Технико-экономическое сравнение трех рассмотренных сорбционных методов обезфторивания воды свидетельствует о том, что наиболее целесообразно применять для указанной цели гидроксид магния.

НИИКВОВ АКХ предложен контактно-сорбционный метод обезфторивания природных вод. Коагулянт вводят в воду непосредственно перед контактными осветлителями. В первоначальный период – 1,5...2,0 ч подается повышенная доза коагулянта (100... 150 мг/л по Al_2O_3). При этом на зернах и в порах загрузки образуется гидроксид алюминия, который впоследствии сорбирует фтор. В этот период – период «зарядки» – фильтр, содержащий большое количество ионов фтора и алюминия, отводят в специальную емкость для последующего использования в качестве промывных вод. После «зарядки» дозу коагулянта снижают до 20...25 мг/л, что обеспечивает эффективное извлечение фтора за счет сохранения сорбционной способности гидроксида алюминия. Процесс дефторирования воды можно осуществлять и без «зарядки» при постоянной дозе коагулянта, величина которой определяется качеством исходной воды. Контактносорбционное обезфторивание приемлемо при обработке вод, содержащих фтора, – до 5 мг/л, сероводорода – до 2 мг/л, имеющих щелочность до 6 мг-экв/л. На 1 мг удаляемого фтора расходуется около 80 мг сульфата алюминия.

Несомненный интерес представляет электрокоагуляционное обезфторивание природных вод, что объясняется возможностью удаления фтора без применения химических реагентов, вместе с которыми в воду вводится значительное количество дополнительных солей, а также гидроксида алюминия. В качестве растворимых анодов применяют алюминий и дюралюминий.

При электролизе в воду с анода переходят катионы алюминия, которые и адсорбируют фтор. Растворение 1 г металлического алюминия эквивалентно введению 6,35 г сернокислого алюминия. Теоретический расход электроэнергии на получение 1 г алюминия должен составлять около 12 Вт·ч. Фактический расход электроэнергии значительно выше из-за тепловых потерь, дополнительного сопротивления оксидной пленки, образующейся на поверхности электродов, и ряда других причин. Расход металлического алюминия при предварительном подкислении воды составил около 12 г на каждый 1 г удаляемого фтора, расход кислоты – 0,2 л/м³. В состав обезфто-

ривающей установки входит емкость для соляной кислоты, насос-дозатор, электрокоагулятор, фильтр, центробежный насос и контрольно-измерительная аппаратура.

Подземные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, не нуждаются в осветлении, поэтому для их обезфторивания наиболее целесообразно применять фильтрационные (ионообменные) методы. В качестве сорбентов для извлечения фтора из воды могут быть применены сильноосновные катиониты и аниониты, магнезиальные сорбенты, фосфат кальция, специально обработанные активированные угли, активированный оксид алюминия, модифицированные загрузки, клиноптилолит.

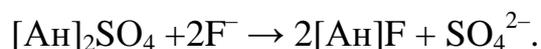
Обезфторивание воды сильноосновными катионитами и анионитами целесообразно при ее одновременном опреснении. Очевидно, что в современных условиях ионообменный метод обезфторивания воды с применением сильноосновных ионитов не может иметь самостоятельного значения по экономическим соображениям. Он может быть рекомендован только для случая обработки воды в целях одновременного обессоливания и удаления фтора. Первоначально обрабатываемая вода поступает на напорные фильтры, загруженные активированным углем, назначение которых извлекать органические вещества из обрабатываемой воды для сохранения обменной способности анионита. Затем вода передается на водород-катионитовые фильтры, загруженные сильноосновным катионитом КУ-2, которые служат для извлечения из воды катионов. Образующийся в процессе водород-катионирования диоксид углерода в результате распада бикарбонатов удаляется в дегазаторе.

После удаления углекислоты вода собирается в промежуточном резервуаре, откуда насосами подается на группу анионитовых фильтров, загруженных сильноосновным анионитом. Здесь помимо удаления из воды анионов сильных кислот происходит задержание фтора. Технологическая схема заканчивается буферным натрий-катионитовым фильтром, который сглаживает возможные проскоки на предыдущих ступенях обработки и поддерживает постоянное значение величины рН в фильтрате. Регенерация фильтров с загрузкой из активного угля и анионита производится едким натром. Водород-катионитовые фильтры регенерируются раствором соляной кислоты. Эта технологическая схема отличается громоздкостью, сложностью реагентного хозяйства, что объясняет ограниченность ее применения.

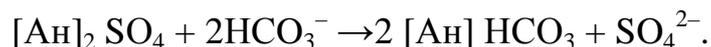
Дефторирование воды активированным оксидом алюминия обеспечивает наилучшие результаты по удалению фтора из подземных вод. Зернистый активированный оксид алюминия является наиболее дешевым сорбентом, простым в изготовлении и емким по поглощению фтора. При фильтровании обрабатываемой воды через активированный оксид алюминия проис-

ходит поглощение фтора сорбентом. В начале фильтроцикла содержание фтора в фильтрате близко к нулю. С течением времени поглотительная способность уменьшается и при достижении 1,5 мг/л рабочий цикл обесфторивания воды прекращается, так как сорбент нуждается в регенерации. Регенерация сорбента производится пропуском через него раствора едкого натра или сульфата алюминия. В процессе регенерации из сорбента вытесняется поглощенный им фтор. После регенерации сорбент отмывается водой для удаления продуктов регенерации и непрореагировавшего реагента.

Сорбционная способность активированного оксида алюминия может быть повышена применением для регенерации сорбента вместо раствора едкого натра раствора сульфата алюминия. При этом в процессе удаления фтора из воды активированный оксид алюминия действует как анионит (Ан), заряженный при регенерации обменными ионами SO_4^{2-} :



Уместно отметить, что при этом происходит поглощение не только ионов фтора, но и бикарбонатных ионов:



По данным Е. Ф. Золотовой, поглощение ионов фтора активированным оксидом алюминия происходит интенсивнее, чем бикарбонатных ионов.

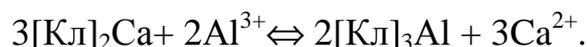
В процессе обесфторивания воды в результате ионного обмена происходит увеличение концентрации в фильтрате сульфатных ионов. Количественно это увеличение эквивалентно уменьшению концентрации суммы ионов фтора и бикарбонатных ионов. Однако известно, что содержание сульфатов в питьевой воде регламентируется. Согласно СанПиН 10-124-99 РБ оно не должно превышать 500 мг/л. Поэтому увеличение содержания сульфатов при обесфторивании воды необходимо учитывать при проектировании и расчете комплексов по улучшению качества воды.

Исследования, выполненные в институте ВОДГЕО, показали, что для загрузки обесфторивающих фильтров может быть использован оксид алюминия, выпускаемый отечественной химической промышленностью. Однако перед загрузкой его необходимо подвергнуть вторичной активации прокаливанием при 800 °С в течение 3 ч. После остывания его смачивают 15 %-ным раствором кальцинированной соды и снова прокаливают при 800 °С в течение 30 мин. Перед введением фильтра в работу загрузку необходимо взрыхлить, отрегенировать 2 %-ным раствором едкого натра и нейтрализовать избыток щелочи 0,5 %-ным раствором соляной кислоты.

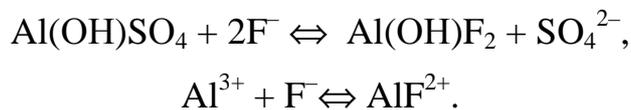
Основными технологическими сооружениями рассматриваемого метода обесфторивания воды (см. рис. 9.13) являются скорые напорные или

открытые фильтры, загруженные оксидом алюминия. Помимо фильтров установка по удалению фтора из воды должна иметь реагентное хозяйство для приготовления регенерационных растворов, баки для хранения воды, необходимой для взрыхления и отмывки сорбента, а также насосное и воздуходувное оборудование. Рассматриваемая технологическая схема отличается известной простотой, возможностью компактного решения планировки станции, надежностью при эксплуатации. Кроме того, обесфторивание воды по данному методу позволяет получить наибольший технико-экономический эффект, так как себестоимость обработки воды здесь минимальная по сравнению со всеми ранее рассмотренными методами.

Обесфторивание воды фильтрованием на алюмомодифицированных материалах показывает, что после обработки солями алюминия песка, керамзита, дробленого клиноптилолита и других фильтрующих загрузок они способны эффективно извлекать из фильтруемой воды фтор. Максимальной сорбционной емкостью по фтору из рассматриваемых материалов обладает алюмомодифицированный клиноптилолит, который в естественной форме фтор из воды практически не извлекает. Механизм сорбции фтора алюмомодифицированным клиноптилолитом может быть представлен следующим образом. При контакте алюмосодержащего реагента с клиноптилолитом (Кл), который является природным катионообменником, в последнем замещаются обменные катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ на катионы алюминия из раствора-модификатора:



При последующем фильтровании очищаемой воды через алюмомодифицированный материал начинается обратный обмен катионов алюминия из клиноптилолита. Алюминий взаимодействует с анионами воды (SO_4^{2-} , OH^- , F^-). Одновременно с гидролизом и образованием основных солей алюминия протекает процесс дефторирования воды. Извлечение фтора осуществляется за счет ионообмена и образования алюмофторидных комплексов, которые адсорбируются клиноптилолитом:



Сорбционная емкость алюмомодифицированных клиноптилолитов составляет 0,5... 1 мг фтора на 1 г сорбента.

Технологическая схема обесфторивания воды путем ее фильтрования через алюмомодифицированную загрузку клиноптилолита состоит из скорых фильтров, загруженных модифицированным клиноптилолитом. Регенерацию истощенной загрузки осуществляют в два приема. Первоначально производят взрыхление и отмывку сорбента от фторсодержащих осадков,

задержанных на поверхности и в порах загрузки. Затем клиноптилолит модифицируют, пропуская через загрузки концентрированный 4...6 %-ный раствор солей алюминия (например, сернокислого алюминия). Раствор-модификатор циркулирует по замкнутому циклу бак – фильтр – бак. После модификации на фильтры подают исходную воду. Первые порции фильтрата с большим содержанием алюминия и низким значением рН отводят в специальный резервуар для повторного использования.

Гиперфильтрационное обесфторивание природных вод является новым способом в технологии обесфторивания природных вод, основанным на применении полупроницаемых мембран (гиперфильтрация и электродиализ). Исследования, проведенные НИИКВОВ АКХ, показали, что при фильтровании фторсодержащей воды через полупроницаемые мембраны при давлениях выше осмотических происходит извлечение фтор-ионов из воды. В качестве обесфторивающих гиперфильтрационных установок могут быть использованы аппараты фильтрпрессового, трубчатого и рулонного типов, а также аппараты с полыми волокнами.

Производственная установка (рис. 9.14) состоит из песчаного фильтра предварительной очистки, бака осветленной воды, насосов высокого давления, гиперфильтрационных аппаратов, ротаметров для измерения расхода фильтрата и сбросного раствора. Кроме того, установка оснащена электроконтактными манометрами, которые вместе с клапанами-регуляторами давления обеспечивают автоматизацию ее работы. Расход электроэнергии 3...4 кВт-ч на 1 м³ обесфторенной воды.

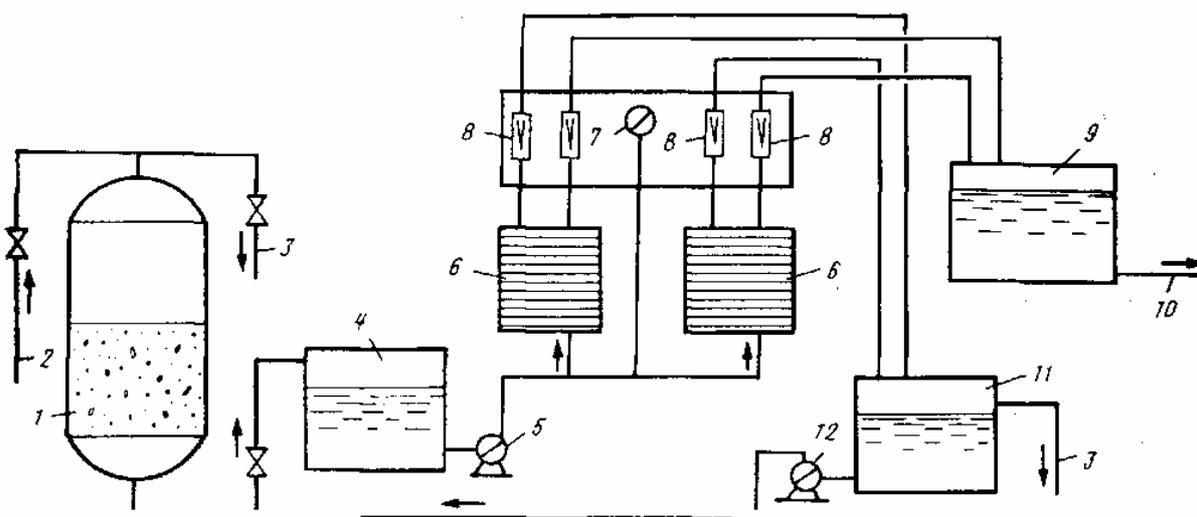


Рис. 9.14. Технологическая схема дефторирования воды обратным осмосом: 1 – фильтр предварительной очистки; 2, 10 – подача исходной и отвод обесфторенной воды; 4 – бак осветленной воды; 5 – насос высокого давления; 6 – гиперфильтрационные аппараты; 8 – ротаметры; 7 – манометр; 9 – бак обесфторенной воды; 11 – бак концентрата; 3 – сброс в канализацию; 12 – насос

ТЕМА 10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДООЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

10.1. Общие сведения по проектированию водопроводных очистных сооружений

Полный расход воды, поступающей на комплекс водоподготовки Q_n ($\text{м}^3/\text{сут}$), определяют с учетом расхода воды на 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 $Q_{доп}$:

$$Q_n = \alpha Q_{\text{макс.сут}} + Q_{доп},$$

где α – коэффициент расхода воды на собственные нужды станции (для станций осветления и обесцвечивания, обезжелезивания, сорбционного обесфторивания при наличии системы обработки и оборота 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 равен:

$$Q_{доп} = 3,6 n \cdot q_{пож} \cdot T_{пож} \cdot T_{восст},$$

где n – число одновременных пожаров; $q_{пож}$ – норма расхода воды при пожаре [5], л/с; $T_{пож}$ – расчетная продолжительность пожара, принимается 3 ч; $T_{восст}$ – период восстановления 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.

Для водоочистных комплексов производительностью до 5 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ допускается организация работы в течение части суток (обычно 16 ч).

При проектировании водоочистных комплексов их коммуникации необходимо рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 30 % больше расчетного, руководствуясь соображениями интенсификации или реконструкции водоочистных сооружений. Величины допустимых скоростей движения воды в коммуникациях (м/с) принимают: от НС I подъема к смесителю – 1,0...1,2; от смесителя к камере хлопьеобразования или освет-

лителю – 0,6...1,0; от отстойников или осветлителей со взвешенным осадком к фильтрам – 0,8...1,2; от фильтровальных аппаратов к резервуарам чистой воды – 1,2... 1,5; в трубопроводах подачи и отвода промывной воды – 1,5...2,0.

Состав водоочистных сооружений зависит от качества воды в источнике водоснабжения, требований, предъявляемых к обработанной воде, которые обусловлены регламентами потребителя, и от производительности комплексов, а при подготовке воды для технологических нужд – в соответствии с требованиями технологии производства.

Рассмотренные ранее технологические схемы составлены исходя из оптимальных режимов эксплуатации отдельных 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 4...12 мг/л и снижать ее цветность до 25...30°. При этом продолжительность работы между выпусками осадка должна быть не менее 12 ч для горизонтального отстойника, 6 ч – для вертикального отстойника, 3 ч – для осветлителя со взвешенным осадком.

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, осветлители – водозаборы и гидроциклоны.

Более сложным и ответственным является обоснование выбора конструкций отдельных технологических сооружений. 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 является необходимым условием для надежной работы указанных аппаратов.

При необходимости удаления из воды планктона следует предусматривать микрофильтры или принимать технологию с флотаторами, либо 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 устраивать контактный резервуар, а при длительном периоде дезодорации – угольные фильтры, располагаемые после осветлительных, предусматри-

вая, если это необходимо, ввод озона или хлора в воду перед фильтрами с активным углем.

При коагулировании примесей воды в условиях низких температур, а также при ее реагентном умягчении следует использовать железные коагулянты. Для обесцвечивания воды рекомендуются алюминиевые коагуляторы (или их смесь с железными), озон и активированная кремниевая кислота.

Подробнее состав водоочистных сооружений был рассмотрен при изучении темы 1.

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. Трассировка обслуживаемых технологических трубопроводов должна предусматривать обводные линии и камеры переключения для подачи обрабатываемой воды, минуя временно выводящие из технологического цикла сооружения на ремонт, профилактику или в случае аварийных ситуаций. При этом для водоочистных комплексов с подачей 10 тыс. м³/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.

На случай экстренных ситуаций (выхода из строя основных очистных сооружений) должна быть предусмотрена подача воды от водозабора насосами первого подъема в резервуары чистой воды, но обязательно с усиленным режимом обеззараживания или переключением на другой водоисточник (лучше артезианский, с более качественной водой).

10.2. Складские и вспомогательные помещения водоочистных сооружений

На территории водоочистных комплексов, т. е. в санитарной зоне строгого режима, помимо основных технологических сооружений, размещают все вспомогательные помещения (склады реагентов и фильтрующих материалов, мастерские, лаборатории, диспетчерские и др.) (табл. 10.1).

Склады реагентов, кроме хлора и аммиака, должны располагаться вплотную к реагентному цеху, где находятся аппараты для приготовления их растворов и суспензий. Площадь складов реагентов рассчитывают на хранение 15...30-дневного запаса в зависимости от продолжительности паводка и местных условий их доставки.

Вспомогательные помещения водоочистных станций

Наименование помещений	Площадь в м ² при производительности станции в тыс. м ³ /сут			
	<10,0	10...50	50...100	100...300
Химическая лаборатория	20	25	25	35
Весовая		6	6	8
Бактериологическая лаборатория	18	20	20	32
Помещение для хранения посуды и реактивов	6	8	10	15
Комнаты дежурного персонала	10	15	20	30
Местный диспетчерский пункт	12	24	48	60
Мастерские для текущего ремонта мелкого оборудования и приборов	12	16	24	36

В зависимости от вида реагента и производительности 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. При этом срок хранения полиакриламида до 6 мес., при этом не допускается замораживание, ведущее к потере его активности. Силикат натрия хранят в герметически закупоренных или деревянных бочках. На крупных водоочистных комплексах раствор коагулянта концентрацией 15... 20 % хранят в баках-хранилищах без перемешивания. Количество баков должно быть не менее четырех. При числе баков до десяти следует предусматривать один резервный.

Для складирования реагентов в сухом виде предусматривают закрытые помещения на первом этаже вблизи от растворных баков.

При сухом хранении извести предусматривают дробилки и известе-гасилки, при мокром хранении – резервуары-хранилища и устройства для отбора, транспортировки теста и его гидравлического или механического перемешивания при приготовлении известкового молока.

При складировании навалом сульфата алюминия и негашеной извести высоту слоя принимают соответственно 1,5 и 2 м, а при наличии соответствующей механизации допускается увеличение высоты слоя до 2,5 и 3,5 м. Высоту слоя поваренной соли следует принимать до 2 м. При хранении реагентов в таре рекомендуется следующая высота их укладки, м: для хлорного железа в барабанах и железного купороса в бумажных мешках – соответственно 2,5 и 3,5; для кальцинированной соды в бумажных мешках – 2 – 3,5,

в контейнерах – 2 – 3; для активного угля в бумажных мешках, геля ПАА в бочках, кремнефтористого натрия в бочках, силиката натрия в бочках, технического перманганата калия в металлических бочках и баках – 2,5.

Склад кислот необходимо изолировать от остальных складских помещений. Он должен иметь надежную приточно-вытяжную систему вентиляции. При его устройстве должны учитываться правила оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих и ядовитых веществ. Это относится и к складам хлора и аммиака, которые необходимо размещать в пониженных точках территории водоочистного комплекса. Расходный склад хлора должен иметь объем для размещения не более 100 т, полностью изолированный отсек – до 50 т. Склад рекомендуется размещать в полузаглубленных или наземных зданиях с двумя выходами с противоположных сторон. Хранят хлор в баллонах или контейнерах. Склад активного угля рекомендуется располагать в отдельном помещении, относящемся по пожарной опасности к категории В. При хранении поваренной соли в растворе (при суточном расходе более 0,5 т) объем баков-хранилищ определяют из расчета 1,5 м³ на 1 т реагента. Склад для хранения запасов ионообменных материалов рассчитывают на объем загрузки двух катионитовых фильтров и по одной загрузке фильтров со слабо- и сильноосновным анионитом в случае их применения.

К помещению для хранения активного угля предъявляют требования пожарной безопасности, относя реагент к категории В. Проектирование складов аммиака и хлора, а также складов для хранения кислот должно производиться согласно Санитарным правилам проектирования, оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ).

На крупных водоочистных комплексах предусматривают песковое хозяйство для хранения, сортировки, промывки и транспортирования материалов, необходимых для периодической догрузки и перегрузки фильтровальных аппаратов. Определение объема емкостей для хранения фильтрующих материалов и подбор оборудования для их промывки и отсева производят из расчета 10% ежегодного пополнения фильтрующей загрузки и аварийного дополнительного запаса на перегрузку одного фильтра при их общем количестве до двадцати. Загрузку фильтрующим материалом следует производить с помощью песковых или водоструйных насосов при скорости движения пульпы 1,2... 2 м/с.

Диспетчерский пункт цеха водоочистки обычно устраивают совмещенным с пунктом управления насосными станциями I и II подъема.

10.3. Высотная схема и планировка водоочистных сооружений

На крупных водоочистных комплексах обрабатываемая вода от сооружения к сооружению передается самотеком. Поэтому важно знать взаимное высотное расположение отдельных элементов технологической схемы. Это достигается построением высотной схемы (рис. 10.1) продольного профиля по воде в произвольном масштабе, на котором показываются все основные и вспомогательные сооружения и аппараты и проставляются отметки уровней воды в каждом сооружении и отметки дна сооружений.

На рис. 10.1 приведены следующие обозначения: 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 очистную станцию; 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 – хлораторы первичного хлорирования; 27 – то же, вторичного; 28 – растворно-хранилищный бак коагулянта; 29 – насос перекачки раствора коагулянта; 30 – расходный бак коагулянта; 31 – насос-дозатор раствора коагулянта; 32 – мешалка полиакриламида; 33 – насос для циркуляции и подачи полиакриламида в расходный бак; 34 – расходный бак раствора полиакриламида; 35 – насос-дозатор раствора ПАА.

При составлении высотной схемы необходимо обеспечить условия самотечного движения воды от контактной камеры или смесителя до резервуара чистой воды при одновременном соблюдении требований удобства эксплуатации. Для этого, прежде всего, необходимо знать максимально возможные потери напора во всех водоочистных сооружениях технологической схемы, потери напора в коммуникациях между сооружениями и потери напора в измерительной аппаратуре. Эти величины принимаются по [2 – 5, 7] в зависимости от определенного состава очистных сооружений. Например, потери напора во входной камере составляют 0,3...0,5 м, отстойнике – 0,7...0,8 м, а в коммуникациях от смесителя до камер хлопьеобразования – 0,3...0,5 м и т.д.

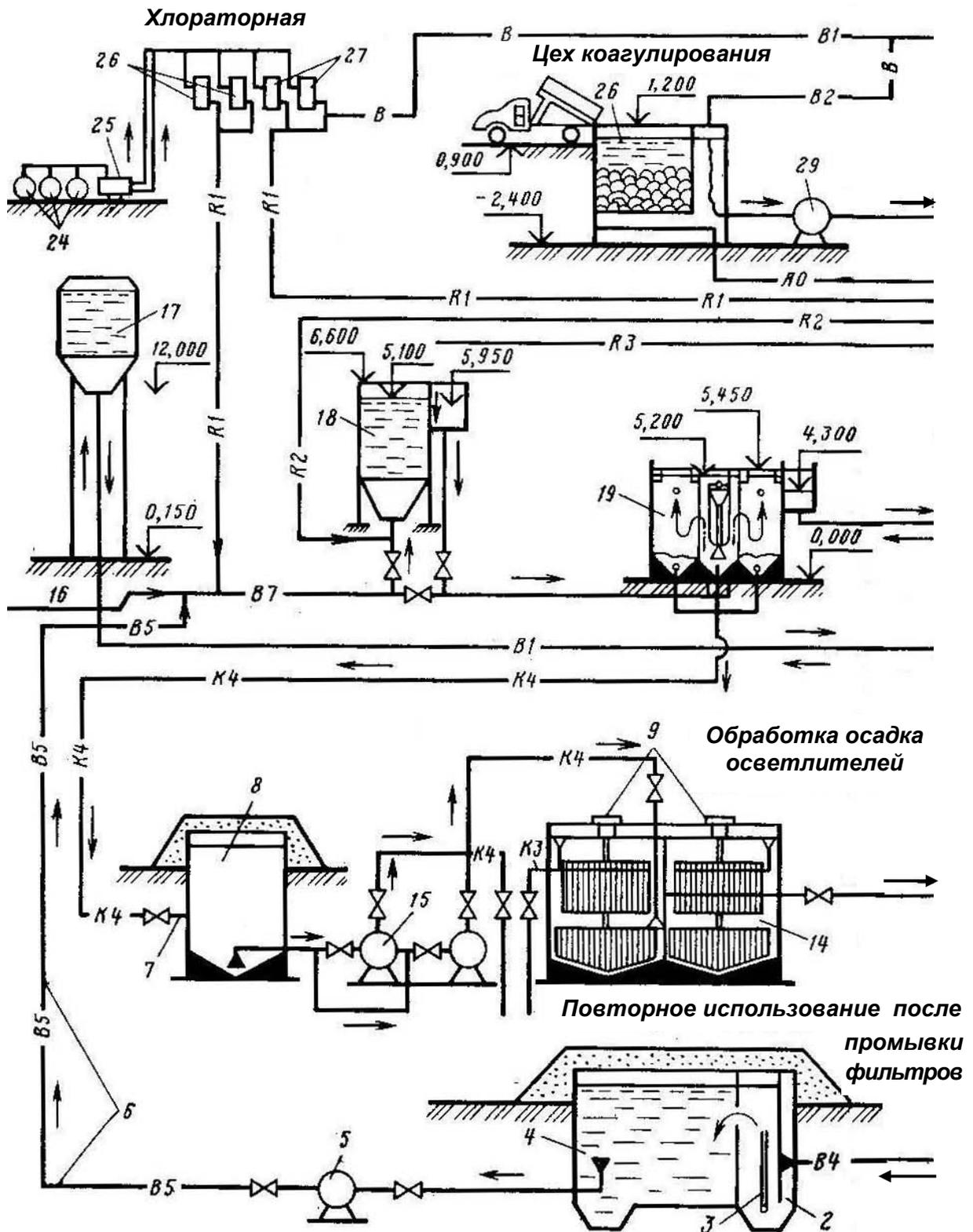


Рис. 10.1. Высотная схема водоочистного комплекса (см. также с. 236)

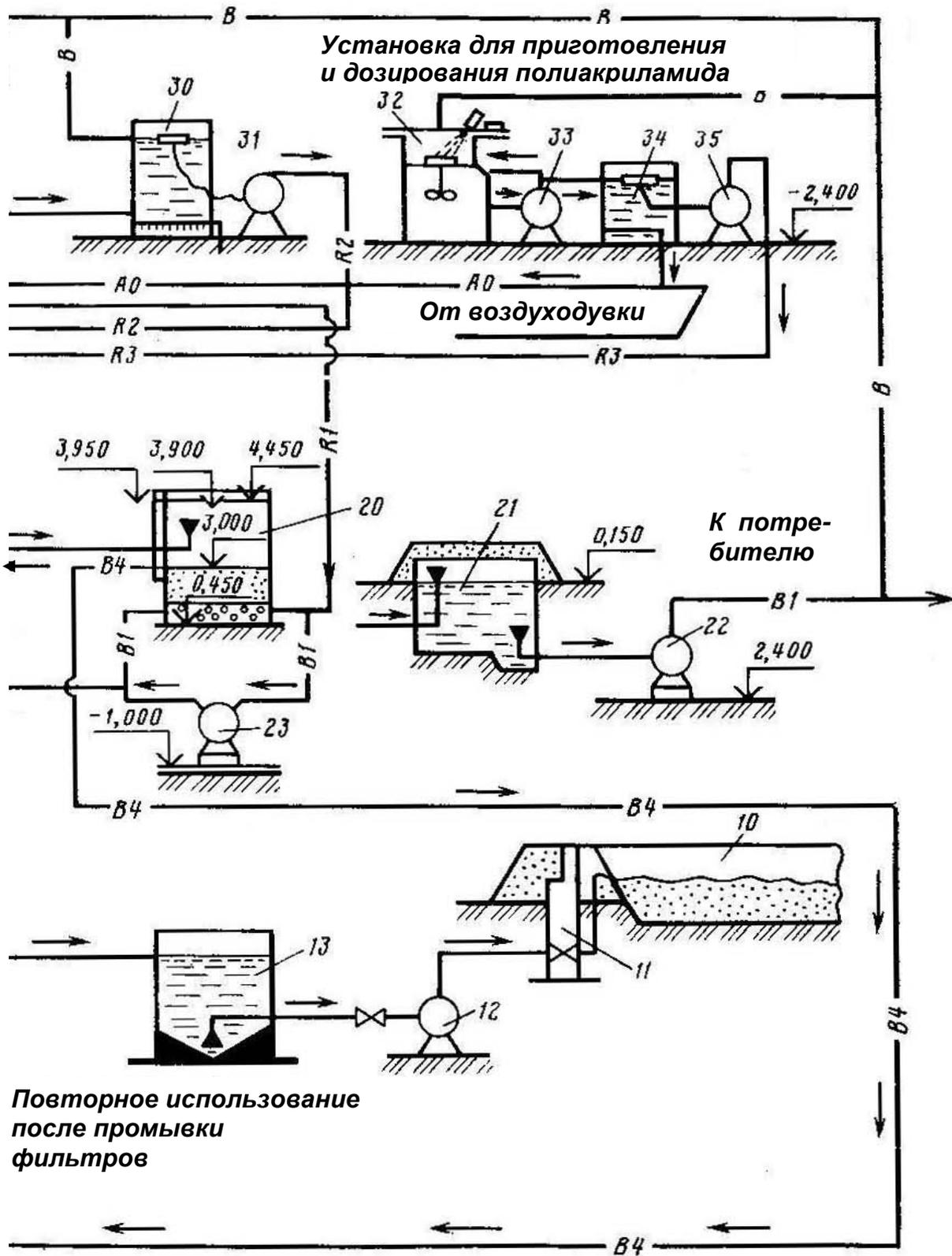


Рис. 10.1. Окончание

При проектировании высотной схемы в качестве основной принимают максимальную отметку уровня воды в резервуаре чистой воды, которую назначают на 0,25...0,5 м выше поверхности земли (принимают ее как исходную минимальную). Для всего водоснабжения населенного пункта эта принятая отметка будет влиять, с одной стороны, на расчет системы водозабора и подачи воды на очистные сооружения, а с другой, – на высотное расположение этих сооружений, включая и насосную станцию второго подъема, и систему подачи и распределения воды к потребителям.

Помимо профиля по воде при составлении высотной схемы необходимо определить высоту отдельных сооружений и отметки их дна по отношению к поверхности земли. При привязке очистных сооружений и проектировании высотной схемы необходимо учитывать 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.

На высотной схеме водоочистного комплекса должно быть показано реагентное хозяйство, сооружения по обороту промывной воды и обработки осадка из сооружений предварительной очистки, отметки оси промывных насосов или днища бака промывной башни, отметки вакуум-насосов, насосов-дозаторов, кислотных насосов, воздуходувок.

Пример определения площадей под складские и вспомогательные помещения, а также построения высотной схемы приведен при изложении материала практического занятия № 12.

10.4. Принципы компоновки водоочистных комплексов

Основополагающими при решении генплана водоочистного комплекса, помимо географических, топографических и геологических условий, являются его производительность и состав водоочистных сооружений. На генплане показывают блок основных водоочистных сооружений, служебный корпус, реагентное хозяйство, башню промывной воды, сооружения обработки осадка, НС II подъема, хлораторную со складом хлора, резервуары чистой воды, котельную, место песковой площадки (рис. 10.2).

Компактное взаимное расположение отдельных водоочистных сооружений, вспомогательных помещений и оборудования на генплане комплекса должно предусматривать минимальные капиталовложения в строи-

тельство, обеспечивать максимальные удобства и экономичность эксплуатации, минимальную протяженность трубопроводов и дорожных покрытий между ними, удобство производства ремонтных работ, надежность и бесперебойность работы комплекса, возможность планомерного расширения при росте водопотребления.

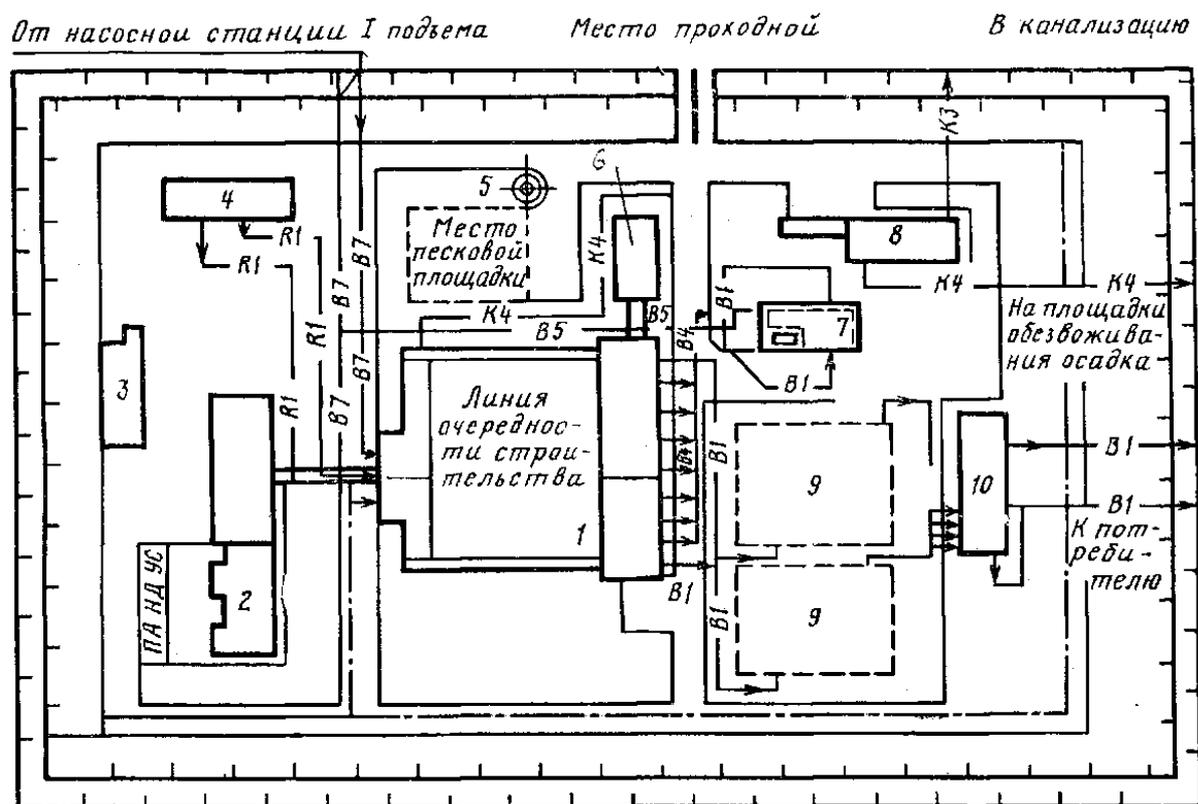


Рис. 10.2. Генеральный план водоочистного комплекса: 1 – блок основных сооружений; 2 – реагентное хозяйство; 3 – котельная; 4 – служебный корпус; 5 – башня промывной воды; 6 – хлораторная; 7 – сооружения оборота промывной воды; 8 – сооружения обработки осадка; 9 – резервуар чистой воды; 10 – насосная станция II подъема

На рациональное решение генерального плана водоочистного комплекса доминирующее влияние оказывает рельеф местности. Так, в целях уменьшения объема земляных работ по выемке грунта и обсыпке отдельных сооружений рекомендуется располагать в повышенных местах сооружения с высокими отметками заложения фундамента, а в пониженных – с малыми. Все основные и вспомогательные сооружения желательно располагать в виде единого комплекса (рис. 10.3), образуемого трех-, двух-, и одноэтажными зданиями. Для малых водопроводов компактность расположения водоочистных сооружений и оборудования достигается их размещением на одном участке, а иногда и в одном здании с насосными станциями I и II подъема.

Однако подобные решения не должны быть в ущерб удобствам компоновки сооружений большой производительности (более 100 тыс. м³/сут), предусматривают отдельные здания для реагентного хозяйства, входных устройств, сооружений предварительной обработки воды и фильтров и т. п. с разрывами между ними порядка 20 м, соединяемые галереями с основным зданием.

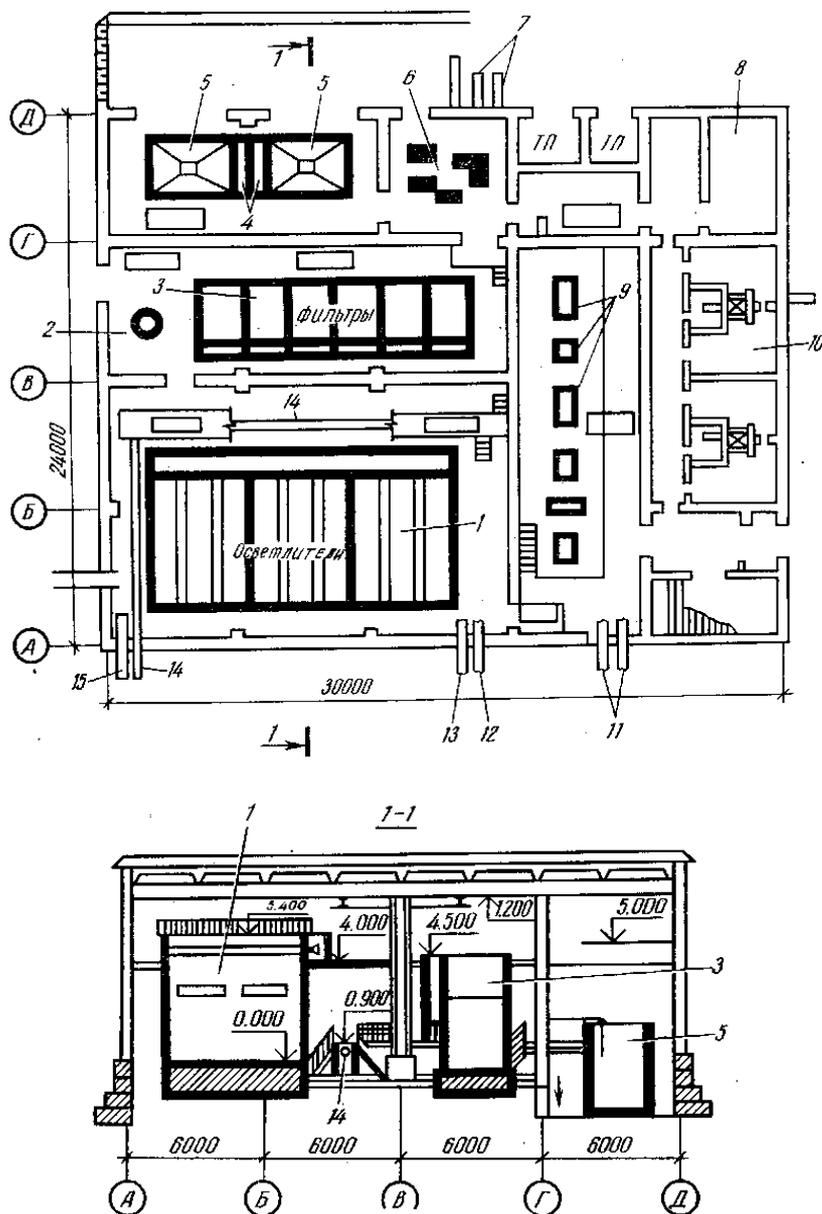


Рис. 10.3. Компоновка водоочистных сооружений: 1 – осветлители со взвешенным осадком; 2 – смеситель; 3 – скорые фильтры; 4 – расходные баки коагулянта; 5 – растворные баки-хранилища коагулянта; 6 – насосы-дозаторы и воздухоподувки; 7 – подача чистой воды потребителю; 8 – мастерские; 9 – насосная станция II подъема; 10 – бытовые помещения; 11 – всасывающие трубопроводы из резервуаров чистой воды; 12 – отвод чистой воды в резервуар; 13 – сброс осадка из осветлителей; 14 – сброс промывной воды от фильтров; 15 – подача исходной воды

Для двухступенчатой очистки воды при производительности комплекса до 50 тыс. м³/сут все его сооружения возводятся в одну очередь, причем при производительности до 5 тыс. м³/сут основные сооружения, реагентное хозяйство, служебные помещения и НС II подъема размещают в одном блоке, а при производительности 5...8 тыс. м³/сут – контактные камеры и микрофильтры выносят в отдельные блоки, соединяемые проходной галереей с блоком основных сооружений. При подаче воды 8...12,5 тыс. м³/сут возможны аналогичные решения.

Для производительности 12,5...20 тыс. м³/сут также предусмотрено отдельное расположение контактной камеры и микрофильтров. При необходимости иметь в составе технологической схемы одновременно и входные камеры, и микрофильтры их располагают в два этажа в одном блоке. Те же решения для подачи 20...32 тыс. м³/сут.

Во всех рассмотренных случаях хлораторная совмещена со складом и находится в отдельно стоящем здании, а сооружения оборота промывной воды и сооружения обработки осадка размещены в пониженной части территории.

Промывка фильтров может осуществляться либо насосом, либо от промывной башни.

При производительности 50 тыс. м³/сут и более служебные помещения и реагентное хозяйство размещают в самостоятельных корпусах, соединяемых галереями с основным корпусом водоочистных сооружений. Для комплексов подобной производительности микрофильтры или контактные камеры располагают в блоке входных устройств, отстойников (осветлителей) и фильтров рядом со смесителями и камерами хлопьеобразования.

Сооружение открытых отстойников и осветлителей вне зданий возможно в климатических регионах, где толщина образующегося на поверхности воды зимой льда не превышает 75 мм. Расположение вне зданий осветлительных и катионитовых фильтров допускается при условии, что в течение фильтроцикла на поверхности воды образуется слой льда толщиной не более 15 мм. Галереи трубопроводов необходимо утеплять. Открытые сооружения возможно применять при кондиционировании подземных вод с температурой не ниже +5 °С, если средняя температура воздуха не ниже –5 °С и наиболее холодной пятидневки не ниже –17 °С.

На генеральный план водоочистного комплекса наносят все технологические, обслуживающие и подсобные сооружения, перечисленные выше,

и кроме того, понизительную электроподстанцию, материальный склад, песковое хозяйство, котельную, мастерские, проходную.

Хлораторную, совмещенную со складом хлора, размещают в наиболее низкой части территории водоочистного комплекса на расстоянии не менее 30 м от других зданий. Если сооружения размещены в здании, то на генплане показывается само здание с примыкающими к нему коммуникациями.

На генплане должны быть показаны с указанием диаметров трубопроводы исходной и фильтрованной воды; трубопроводы подачи, отвода и оборота промывной воды; промышленная и хозяйственно-бытовая канализация, хозяйственно-противопожарный водопровод, отводной трубопровод, теплосеть, кабели и другие коммуникации.

При решении компоновки блока основных сооружений преследуют цель логической последовательности передачи воды от сооружения к сооружению при минимальной протяженности коммуникации, учитывая возможность интенсификации работы отдельных сооружений или расширения комплекса на расчетный период. С этой целью на генплане предусматривают площадку, обозначаемую пунктиром, при этом трассировка трубопроводов первой очереди должна непременно учитывать последующее расширение. Стороны здания, в направлении которых будет производиться пристройка при расширении комплекса, не должны загромождаться постройками постоянного типа, подземными сооружениями и коммуникациями. Каналы и трубы обвязки сооружений должны быть рассчитаны с запасом на возможность пропуска воды после реконструкции отдельных водоочистных сооружений или целых блоков.

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.

Использование технологии обработки воды в осветлителях со слоем взвешенного осадка на водоочистных комплексах производительностью до 50 тыс. м³/сут позволяет разместить в одном здании все основные технологические сооружения, реагентное хозяйство, входные устройства (вариант) и НС II подъема. При этом смесители, осветлители и фильтры выделены в отдельный зал. При большей производительности водоочистного комплекса служебные помещения выносятся в двухэтажное отдельное здание,

входные устройства стыкуют с основными сооружениями или размещают в отдельно стоящем здании реагентного хозяйства. В этом случае в состав реагентного цеха включают отделения коагулирования, флокулирования, фторирования; могут быть еще отделения углевания, известкования и др. Для удобства эксплуатации служебный корпус и реагентный цех проходными галереями соединяются с блоком основных сооружений. Для НС II подъема предусматривают отдельное здание.

Контактные осветлители, как правило, располагают в два ряда и предусматривают остекленные перегородки, отделяющие зеркало воды в них от остальных помещений. При производительности 100 тыс. м³/сут и выше входные устройства и основные сооружения устраивают в два параллельно работающих блока (по очередям строительства), которые размещают в одном здании.

При проектировании или привязке одноступенчатых схем, решение генплана носит более лаконичный характер, однако ему присущи все те принципы, о которых говорилось выше.

Планировка территории комплекса должна обеспечивать отвод атмосферных осадков от всех технологических сооружений, отдельных зданий и с площади расположения очистных сооружений. На территории комплекса, помимо дорог, предусматривают устройство тротуаров и озеленение.

Территории, где размещены водоочистные сооружения, ограждаются согласно условиям первого пояса санитарных и охранных зон.

10.5. Повторное использование промывной воды и обработка осадка на водоочистных комплексах

В целях рационального использования воды и охраны среды обитания на водоочистных комплексах применяют повторное использование воды после промывки фильтровальных сооружений, от сооружений I ступени очистки и реагентного хозяйства с обработкой осадка для его утилизации.оборот промывной воды особенно эффективен при значительном удалении водоочистных комплексов от водоисточников или при большой разнице отметок между ними. Сооружения оборота промывной воды и сооружения обработки осадка отстойников (осветлителей) располагают в непосредственной близости друг от друга. Желательно, чтобы отвод промывных вод и осадка (при наличии иловых площадок) обеспечивался самотеком.

Возможны две схемы оборота промывной воды.

При двухступенчатой очистке сбросные воды от отстойников и промывные воды фильтров, пройдя песколовку, поступают в резервуар-усреднитель, а из него без отстаивания или после отстойников равномерно передаются в головной узел очистных сооружений. Если невозможно обеспечить самотечную схему, то необходимо предусмотреть насосы возврата осветленной воды и перекачки осадка.

При обработке поверхностных вод только фильтрованием промывные воды через песколовку поступают в отстойники периодического действия (время отстаивания 1 ч, доза полиакриламида составляет 0,08...0,16 мг/л, причем меньшие дозы принимаются при обработке цветных маломутных вод). Если отсутствует предварительное хлорирование, то оборотные промывные воды необходимо обеззараживать хлором дозой 2... 4 мг/л. Осветленная вода также равномерно передается в головной узел очистных сооружений.

На установках и станциях обезжелезивания промывные воды после фильтров сразу направляют на отстаивание в течение не менее 4 ч. В отличие от предыдущих технологических схем, при использовании метода упрощенной аэрации осветленную воду нельзя направлять в головной узел очистных сооружений, иначе может нарушиться сам процесс обезжелезивания воды. Для обработки осветленной воды следует предусматривать отдельные фильтры (обычно не более двух) таких же размеров, как и при обработке подземной воды, с обязательным последующим обеззараживанием.

В технологии обработки осадка предусматривают следующие основные сооружения: сгустители, накопители или площадки замораживания и подсушивания осадка. Перспективно механическое обезвоживание и регенерация коагулянта из осадка.

Количество резервуаров промывных вод принимают не менее двух. Объем каждого из них принимают в соответствии с графиком поступления и перекачки промывных вод. Отстойники промывных вод рассчитывают исходя из тех же соображений.

Образующийся осадок передают в сгустители на дополнительное уплотнение или на сооружения по обезвоживанию осадка.

Сгустители с медленным механическим перемешиванием используют для ускорения уплотнения осадка из сооружений I ступени очистки воды и из реагентного хозяйства, а также осадка из отстойников промывных вод.

Габариты радиального отстойника-сгустителя принимают следующие: диаметр – до 18 м, средняя глубина – 3,5 м, уклон дна к грязевому приямку – 8°, скорость движения конца вращающейся формы – 0,015...0,03 м/с. Продолжительность цикла сгущения принимают 5... 10 ч.

Накопители предусматривают для складирования и обезвоживания осадка с удалением осветленной воды и воды, выделившейся при его уплотнении. Расчетный период передачи осадка в накопитель принимают не менее пяти лет. В качестве накопителей используют отработанные карьеры, овраги или спланированные площадки глубиной не менее 2 м. Число секций накопителя принимают не менее двух, работающих попеременно.

Площадки замораживания для обезвоживания осадка устраивают в районах с периодом устойчивого мороза не менее 2 мес. в году с последующим его удалением через 1 ... 3 года в места складирования.

Образующийся при обработке воды осадок подвергают обезвоживанию в естественных или искусственных условиях. Большинство водоочистных комплексов направляют образующиеся осадки на иловые карты или площадки, где они подвергаются испарению и вымораживанию в естественных условиях. В зависимости от географического положения очистных сооружений и сезонных климатических условий влажность осадка может уменьшиться с 98,5... 99 до 78... 80 % за период между наполнением карт. Нагрузка на площадки может быть уменьшена за счет возврата осветленной части воды на очистные сооружения, но установлено, что это не приносит экономических выгод, так как возврат воды приводит к дополнительным затратам, и только может быть оправдано необходимостью уменьшить загрязнение рек и водоемов.

В большинстве случаев площадки представляют собой земляные емкости на естественном грунтовом основании с системой водосливов отстоянной 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.

Механическое обезвоживание осадка технически может быть применено на очистных комплексах любой производительности. В качестве аппаратов используют центрифуги, вакуум-фильтры и фильтр-прессы (рис. 10.4). Вакуум-фильтры при обезвоживании осадков от очистки маломутных вод сульфатом алюминия не обеспечивают необходимое уменьшение влажности.

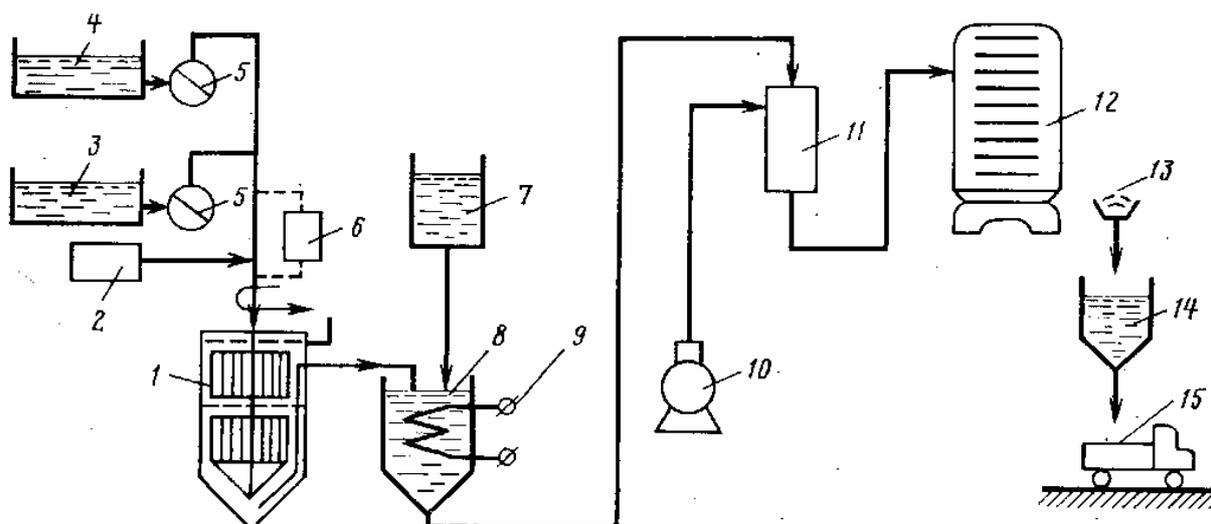


Рис. 10.4. Технологическая схема обработки осадков на камерном фильтр-прессе: 1 – уплотнитель; 2 – дозатор ПАА; 3 – усреднитель-отстойник осадков из отстойников или осветлителей со взвешенным слоем осадка; 4 – усреднитель-отстойник промывных вод фильтровальных сооружений; 5 – насос; 6 – сборник осадков; 7 – дозатор флокулянтов и вспомогательных веществ; 8 – промежуточная емкость; 9 – нагревательный элемент; 10 – компрессор; 11 – монжус; 12 – камерный фильтр-пресс; 13 – транспортер; 14 – бункер; 15 – автосамосвал

Для механического обезвоживания требуется предварительная подготовка осадка, которая заключается в разрушении гелеобразной структуры гидроксида алюминия. Хороший эффект дает применение извести. Использование фильтр-пресса считается экономичным для осадков вод средней цветности и мутности при дозах извести не более 50...70 % от массы сухого осадка.

Кислотная обработка осадка для регенерации сульфата алюминия (рис. 10.5) может также применяться на водоочистных комплексах различной производительности. Кислотную обработку нецелесообразно осуществлять на очистных комплексах, которые обрабатывают высокоцветную воду. В этом случае восстановленный коагулянт будет загрязнен растворенными органическими веществами. Не следует также применять кислотную обработку для осадков от очистки высокомутных вод. Осадок от обработки таких вод имеет низкое содержание остаточного гидроксида алюминия и большой абсолютный объем. Расход 100 %-ной кислоты в среднем составляет 3 кг на 1 кг оксида алюминия. Применение кислотной обработки имеет также ограничение и по химическим показателям исходной воды.

Растворенные кислотой токсические загрязнения из осадка будут переходить в обрабатываемую воду и накапливаться в ней.

Восстановление сульфата алюминия происходит в три этапа: уплотнение осадка до концентрации сульфата алюминия не менее 2 % (20 г/л); добавление серной кислоты до кислотности $pH = 2...3$ и пребывание в растворе для увеличения уплотнения; отделение осадка от сульфата алюминия.

Восстановление сульфата алюминия до 90 % возможно в том случае, если фильтр-прессы способны выдержать сильнокислые осадки. Для облегчения транспортировки и хранения в конце цикла на фильтр-прессы подается известковое молоко. Хороший эффект дают добавки искусственных органических и неорганических флокулянтов. Считают, что осадок таким способом можно обезвоживать до концентрации сухого вещества 40...45 %.

После самых эффективных в настоящее время способов обезвоживания остается проблема осадков, так как их влажность, в лучшем случае, практически составляет 50 %. По мнению В.М. Любарского, лучшим способом остается размещение осадка при соблюдении следующих условий: вода, проникающая в кек, должна испаряться; после дождя КЭК не должен превращаться в суспензию; безвредность веществ, содержащихся в осадке, для окружающей среды.

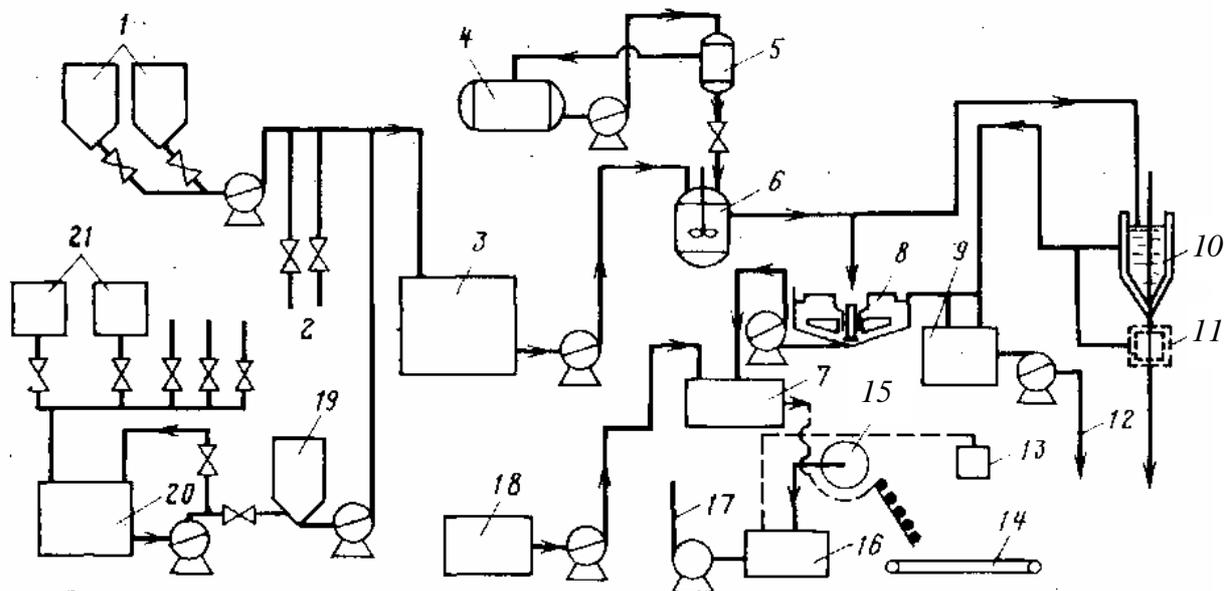


Рис. 10.5. Схема регенерации коагулянта кислотой: 1 – сооружения предочистки; 2 – осадок от других сооружений; 3 – усреднитель; 4 – бак кислоты; 5 – мерник; 6 – реактор; 7 – сборник уплотненного осадка; 8, 10 – отстойники; 9 – бак регенеративного раствора коагулянта; 11 – морозильная камера; 12 – отвод регенерированного раствора коагулянта; 13 – вакуум-насос; 14 – транспортер для кэка; 15 – вакуум-фильтр; 16 – сборник фильтрата; 17 – возврат фильтрата в начало технологического тракта; 18 – блок приготовления известкового молока; 19 – промежуточная емкость; 20 – сборник промывных вод фильтров; 21 – скорые фильтры

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982.
2. Кульский, Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды (процессы и аппараты) / Л.А. Кульский. – Киев: Наукова думка, 1971.
3. Николадзе, Г.И. Водоснабжение: учеб. для вузов / Г.И. Николадзе, М.В. Сомов. – М.: Стройиздат, 1996.
4. Николадзе, Г.И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения: учеб. пособие для вузов по спец. «Водоснабжение и канализация» / Г.И. Николадзе, Д.М. Минц, А.А. Кастальский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984. – 368 с.
5. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
6. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий. – М.: Стройиздат, 1985.
7. Фрог, Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог. – 2-е изд. – М.: МГУ, 2001.

Дополнительная

8. Басс, Г.М. Строительство водопроводных очистных станций: учеб. для вузов по спец. «Водоснабжение и канализация» / Г.М. Басс, Б.Ф. Белецкий, Г.П. Владыченко. – М.: Высш. шк., 1979. – 172 с., ил.
9. Бородин, И.В. Технология и организация строительства и водопроводно-канализационных сооружений / И.В. Бородин. – М.: Стройиздат, 1977.
10. Брежнев, В.И. Обеззараживание питьевой воды на городских водопроводах / В.И. Брежнев. – М.: Стройиздат, 1971.
11. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика / под ред. И.А. Назарова. – М.: Стройиздат, 1977.
12. Водоснабжение. В 3 т. Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод / под ред. М.Г. Журбы. – Вологда: ВоГТУ, 2001.
13. Водозаборные и очистные сооружения и устройства / под ред. М.Г. Журбы. – М.: ВОДГЕО, 2001. – 272 с.
14. Временная инструкция о составе и оформлении строительных рабочих чертежей и сооружений. Разделы 1, 2, 3, 6, 8. – М.: Стройиздат, 1995.
15. Вахлер, Б.Л. Водоснабжение и водоотведение на металлургических предприятиях / Б.Л. Вахлер. – М.: Металлургия, 1977.
16. Гамер, М. Очистка воды для промышленных предприятий / М. Гамер [и др.]. – М.: Стройиздат, 1968.

17. Говорова, Ж.М. Выбор и оптимизация водоочистных технологий / Ж.М. Говорова. – М., 2001.
18. Гуринович, А.Г. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / А.Г. Гуринович. – Минск: Технопринт, – 2001. – 305 с.
19. Зацепин, В.Н. Курсовое и дипломное проектирование водопроводных и канализационных систем и сооружений: учеб. пособие для техникумов / В.Н. Зацепин. – 2-е изд. – Л.: Стройиздат, 1973. – 216 с.
20. Золотова, Е.Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Е.Ф. Золотова, Г.Ю. Асе. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
21. Запольский, А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды / А.К. Запольский, А.А. Баран.– Л.: Химия, 1987. – 203 с.
22. Кастальский, А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А.А. Кастальский, Д.М. Минц. – М.: Высш. шк., 1962.
23. Клячко, В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, Н.Э. Апельцын. – М.: Стройиздат, 1971.
24. Кожинов, В.Ф. Очистка питьевой и технической воды / В.Ф. Кожинов. – М.: Стройиздат, 1971.
25. Кожинов, В.Ф. Установки для озонирования воды / В.Ф. Кожинов. – М.: Стройиздат, 1968.
26. Кульский, Л.А. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов / Л.А. Кульский [и др.]. – Киев: Будивельник, 1972.
27. Кульский, Л.Л. Практикум по технологии очистки природных вод / Л.Л. Кульский, – М.: Высш. шк., 1980.
28. Курганов, А.М. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1978. – 424 с., ил.
29. Карасев, Б.В. Насосы и насосные станции: учеб. для вузов / Б.В. Карасев. – Минск: Выш. шк., 1990. – 352 с.
30. Методические указания для выполнения курсового проекта «Водоочистные сооружения населенного пункта» для студентов специальности Т.19.06 / сост. В.Д. Ющенко. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 23 с.
31. Методическая инструкция для выполнения дипломного проекта. – Новополоцк: ПГУ, 2007.
32. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации: справочник по специальным работам / под общ. ред. А.К. Перешивкина – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1971. – 598 с.
33. Москвитин, Б.А. Оборудование водопроводных и канализационных сооружений: учеб. для вузов / Б.А. Москвитин, Г.М. Мирончик, АС. Москвитин. – М.: Стройиздат, 1984. – 192 с.
34. Москвитин, А.С. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений: Справочник монтажника / А.С. Москвитин [и др.]; под ред. А.С. Москвитина. – М.: Стройиздат, 1979. – 430 с: ил.

35. Москвитин, А.С. Справочник по специальным работам. Трубы, арматуры / А.С. Москвитин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 19701. – 527 с.
36. Николадзе, Г.И. Водоснабжение: учеб. для техникумов / Г.И. Николадзе. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 496 с.
37. Николадзе, Г.И. Технология очистки природных вод / Г.И. Николадзе. – М.: Высшая школа, 1987. – 480 с.
38. Попкович, Г.С. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учеб. для вузов / Г.С. Попкович, М.А. Гордеев. – М.: Высш. шк., 1986. – 391 с.
39. Старинский, В.П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов: учеб. пособие по спец. 29.08, 29.05 / В.П. Старинский, Л.Г. Михайлик. – Минск: Выш. шк., 1989. – 204 с.
40. Старинский, В.П. Технологические, гидравлические и технико-экономические расчеты в водоснабжении: учеб. пособие для вузов / В.П. Старинский. – Минск: Выш. шк., 1985. – 200 с.
41. Трегубенко, Н.С. Водоснабжение и водоотведение. Примеры расчетов: учеб. пособие для вузов по спец. «Водоснабжение, канализация, рациональное использование и охрана водных ресурсов» / Н.С. Трегубенко. – М.: Высш.шк., 1989.– 351 с., ил.
42. Тугай, А.М. Расчет и конструирование водозаборных узлов / А.М. Тугай. – Киев: Будивельник, 1978.
43. Турк, В.М. Насосы и насосные станции / В.М. Турк, А.В. Минаев, В.Я. Карелин. – М.: Стройиздат, 1976.
44. Шабалин, А.Ф. Обратное водоснабжение промышленных предприятий / А.Ф. Шабалин. – М.: Стройиздат, 1972.
45. Шальнов, А.П. Технология и организация строительства водопроводных и канализационных сетей и сооружений: учеб. для техникумов по спец. «Строительство водопроводных и канализационных сетей и сооружений» / А.П. Шальнов, Г.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1981. – 312 с., ил.
46. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета отдельных чугунных, асбестоцементных и пластмассовых водопроводных труб / Ф.А. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1984.
47. Шифрин, С.М. Экономика водопроводно-канализационного строительства и хозяйства: учеб. для вузов / С.М. Шифрин [и др.]; под ред. С.М. Шифрина – 2-е изд., доп. и перераб. – Л.: Стройиздат, 1982. – 319 с., ил.
48. Ющенко, В.Д. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Водоснабжение» для студентов спец. Т.19.06. / В.Д. Ющенко, Т.А. Подсадник. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 23 с.
49. Ющенко, В.Д. Методические указания к выполнению раздела «Водоснабжение» дипломного проекта для студентов спец. Т.19.06. / В.Д. Ющенко, О.С. Софинская. – Новополоцк: ПГУ, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА.....	4
КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ	11
ВВЕДЕНИЕ	12
ТЕМА 1. Основные задачи водопроводных очистных сооружений.	
Технологические схемы	16
1.1. Оценка качества воды в природных источниках. СанПиН 10-124-99 РБ.....	16
1.2. Физические показатели качества воды	17
1.3. Химические показатели качества воды.....	19
1.4. Биологические и бактериологические показатели воды	26
1.5. Требования к качеству и составу воды	27
1.6. Основные технологические процессы и схемы обработки воды.	
Выбор состава сооружений	30
ТЕМА 2. Реагентная обработка воды.....	34
2.1. Общая характеристика реагентов, применяемых для обработки воды	34
2.2. Основные сведения коагуляции воды.....	34
2.3. Коагуляция воды солями алюминия и железа.....	38
2.4. Определение дозы коагулянта	41
2.5. Электролитическая коагуляция воды.....	43
2.6. Контактная коагуляция.....	45
2.7. Подщелачивание воды	46
2.8. Флокуляция воды	47
ТЕМА 3. Сооружения для приготовления растворов реагентов	49
3.1. Сооружения для приготовления растворов коагулянтов	49
3.2. Сооружения для приготовления растворов реагентов при подщелачивании воды	55
3.3. Сооружения для приготовления раствора флокулянта	56
3.4. Приготовление раствора угольной пульпы	57
3.5. Дозирование реагентов	58
3.6. Последовательность ввода реагентов в обрабатываемую воду при обработке воды из поверхностного источника.....	62
3.7. Смесительные устройства	63
ТЕМА 4. Предварительное осветление и обесцвечивание воды.....	68
4.1. Осветление воды в поле центробежных сил	68
4.2. Обработка воды флотацией.....	72
4.3. Обработка воды фильтрованием через сетки, ткани и пористые материалы	76
4.4. Обработка воды фильтрованием через осадки.....	80
4.5. Биореакторы для биологической предочистки воды.....	85
ТЕМА 5. Отстаивание воды	89
5.1. Общие сведения по отстаиванию воды.....	89
5.2. Камеры хлопьеобразования.....	91
5.3. Типы отстойников, область применения	97
ТЕМА 6. Осветление воды во взвешенном слое.....	104
6.1. Принцип работы осветлителя со взвешенным осадком	104
6.2. Конструкции и типы осветлителей со взвешенным осадком	105
ТЕМА 7. Фильтрование воды	111
7.1. Общие сведения о фильтровании воды.....	111

7.2. Фильтрующие материалы и поддерживающие слои	114
7.3. Принцип работы скорого фильтра.....	118
7.4. Теоретические основы фильтрования воды через зернистую загрузку скорых фильтров.....	120
7.5. Дренажно-распределительные системы скорых фильтров.....	122
7.6. Промывка скорых фильтров.....	125
7.7. Способы подачи промывной воды	129
7.8. Устройства для сбора и отведения промывной воды	131
7.9. Регулирование скорости фильтрования	133
7.10. Принципы расчета и проектирования скорых фильтров	136
7.11. Конструкции скорых фильтров.....	138
7.11.1. Скорые однослойные фильтры	138
7.11.2. Грубозернистые фильтры.....	141
7.11.3. Скорые двухпоточные фильтры конструкции АКХ.....	142
7.11.4. Контактные осветлители	143
7.11.5. Контактные фильтры, их конструкции	146
7.11.6. Сверхскоростные фильтры.....	148
7.11.7. Фильтры с плавающей загрузкой	150
ТЕМА 8. Обеззараживание воды.....	153
8.1. Общие сведения по обеззараживанию воды	153
8.2. Обеззараживание воды жидким или газообразным хлором	157
8.3. Применение гипохлоритов натрия и кальция для обеззараживания воды.....	163
8.4. Озонирование воды.....	167
8.5. Бактерицидное облучение воды	171
ТЕМА 9. Специальные методы обработки воды	178
9.1. Стабилизация воды	178
9.2. Обработка воды для улучшения привкусов и запахов	183
9.3. Удаление из воды железа	193
9.4. Деманганация воды	206
9.5. Фторирование (фторидирование) воды	213
9.6. Технология дефторирования воды	220
ТЕМА 10. Проектирование водоочистных комплексов хозяйственно-питьевого водоснабжения.....	229
10.1. Общие сведения по проектированию водопроводных очистных сооружений.....	229
10.2. Складские и вспомогательные помещения водоочистных сооружений	231
10.3. Высотная схема и планировка водоочистных сооружений	234
10.4. Принципы компоновки водоочистных комплексов	237
10.5. Повторное использование промывной воды и обработка осадка на водоочистных комплексах.....	242
ЛИТЕРАТУРА.....	247

Учебное издание

ЮЩЕНКО Виктор Дмитриевич

ВОДОПОДГОТОВКА

Учебно-методический комплекс
для студентов специальности 1-70 04 03
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

В двух частях

Часть 1

Редактор *А.Э. Цибульская*

Дизайн обложки *В.А. Виноградовой*

Подписано в печать 24.02.09. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Ризография. Усл. печ. л. 14,62. Уч.-изд. л. 14,03. Тираж 45 экз. Заказ 314.

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29