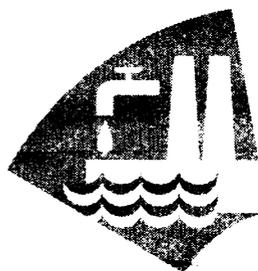


**П.П. СТРОКАЧ
Н.П. ЯЛОВАЯ**

ЭКОЛОГИЯ ГИДРОСФЕРЫ

Рекомендовано к изданию Советом Брестского государственного технического университета и Брестским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды в качестве пособия для студентов, аспирантов и инженерно-технических работников



Брест 2004

УДК 502.51(476):628.1.033(476)
ББК 28.081:28.082.1
С 86

Рецензенты: директор Отдела проблем Полесья НАН РБ, Академик Международной академии наук Евразии, профессор, доктор химических наук *Н.П. Ярчак*, доцент кафедры неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук *Е.И. Василевская*

Строкач П.П., Яловая Н.П.
С 86 **Экология гидросферы.** – Брест: БГТУ, 2004. – 324 с.: ил.
ISBN 985–493–002–5

В книге приведены краткие сведения о составе ресурсов гидросферы, о природном и антропогенном воздействии на их экологическое состояние и о возможностях использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Уделено внимание теоретическим аспектам многих технологических процессов, которые базируются на осветлении и обесцвечивании, обезжелезивании, дезодорации, фторировании, обесфторивании и обеззараживании воды. Рассмотрены современные методы, аппаратура и технологические схемы улучшения качества водных ресурсов.

Книга предназначена для широкого круга читателей: студентов и аспирантов высших учебных заведений, работников природоохранных организаций, коммунального хозяйства, которым по роду своей деятельности необходимо знание вопросов инженерной защиты и улучшения качества ресурсов гидросферы.

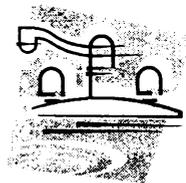
Авторы выражают благодарность Брестскому областному комитету природных ресурсов и охраны окружающей среды за финансовую поддержку в подготовке и издании книги.

УДК 502.51(476):628.1.033(476)
ББК 28.081:28.082.1

ISBN 985–493–002–5

© П.П. Строкач, 2004
© Н.П. Яловая, 2004
© УО «Брестский государственный технический университет», 2004

ВВЕДЕНИЕ



В последние десятилетия водные ресурсы гидросферы подвергаются интенсивному антропогенному и техногенному загрязнению. Ухудшение качества воды водоисточников привело к тому, что во многих регионах питьевая вода не отвечает гигиеническим требованиям как по санитарно-химическим, так и по санитарно-биологическим показателям. Если такая тенденция будет продолжаться, то к 2025 г., как отмечено в итоговом документе Всемирного форума по охране водных ресурсов (Киото, Япония, 2003 г.), 50% населения Земли может остаться без качественной пресной воды. Поэтому проблема обеспечения населения Республики Беларусь и др. стран питьевой водой нормативного качества стала одной из самых острых проблем современного общества - проблемой национальной безопасности.

Обеспечение населения доброкачественными питьевыми ресурсами в ближайшие годы возможно путем рационального использования, охраны и восстановления источников питьевого водоснабжения, внедрения прогрессивных технологий подготовки питьевой воды и очистки сточных вод, совершенствования систем водоснабжения и водоотведения.

Таким образом, проблема обеспечения населения питьевой водой нормативного качества, восстановления экологического благополучия водоисточников носит комплексный характер и требует теоретического обоснования и разработки технологий подготовки питьевой воды в условиях повышенных антропогенных нагрузок на водоисточники; теоретического обоснования и разработки эффективных систем водоснабжения и водоотведения населенных мест и промышленных предприятий; научного обоснования и разработки технологий очистки сточных вод городов и предприятий промышленности и сельского хозяйства; теоретического обоснования технологий и технических средств для реализации систем охраны водных ресурсов от загрязнения.

Значительная роль в решении проблем охраны среды обита-

ния человека, снабжения населения РБ качественной питьевой водой, экологической защите подземных и поверхностных вод, повышении эффективности водоснабжения и водоотведения жилищно-коммунального и сельского хозяйства, предприятий промышленности, укреплении экологической безопасности водных объектов отводится выпускникам высших учебных заведений, специалистам природоохранных организаций и водного хозяйства, деятельность которых должна обеспечивать сохранение и улучшение качества ресурсов гидросферы.

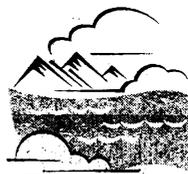
В книге рассмотрены современные методы и технологии подготовки воды для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения. Особое внимание уделено теоретическому обоснованию процессов коагулирования примесей воды, ее осветления и обезцвечивания, обезжелезивания, фторирования и обесфторивания, дезодорации и обеззараживания.

Аппаратурное оформление рассмотренных технологий поможет решать вопросы экологической защиты водной среды от загрязнений и подготовки воды нормативного качества.

Авторы книги профессор П.П. Строкач и доцент Н.П. Яловая будут благодарны читателям за полезные советы и рекомендации по улучшению следующего издания.

Глава I.

РЕСУРСЫ ГИДРОСФЕРЫ



1.1. РЕСУРСЫ ГИДРОСФЕРЫ КАК ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Общие запасы воды на земном шаре, по оценке М.И. Львовича, составляют 1 455 млн. км³, их них только 28 млн. км³, или около 1,9%, составляют пресные воды, дебит которых катастрофически понижается из-за нарастающего их загрязнения. Остальные воды – соленые, с различной степенью минерализации, непригодные без специальной обработки для промышленного, сельскохозяйственного и хозяйственно-питьевого использования.

Водными объектами населенных пунктов, промышленности и сельского хозяйства являются подземные и поверхностные воды, а также атмосферные осадки.

К *подземным* водам относятся:

Верховодка, грунтовые, межпластовые, артезианские, трещинные, карстовые. Состав подземных вод определяется главным образом условиями их формирования. Так, различают: 1) воды, минеральный состав которых сформировался в процессе выщелачивания горных пород; 2) воды, попавшие в осадочные породы в процессе образования этих пород на дне морей и океанов, они близки по составу к водам океана; 3) воды, образовавшиеся при переходе воды из связанного состояния в свободное под влиянием высокой температуры и давления.

К *поверхностным* принадлежат воды открытых водоемов: рек, озер, морей, каналов, водохранилищ, болот и пр. Их состав определяется: климатическими, геоморфологическими и антропогенными факторами (рельеф, форма и размер бассейна, фауна, флора); почвенно-геологическими условиями (состояние почвы и пород); агро- и гидротехническими мероприятиями.

Для подземных вод характерно значительное содержание минеральных солей и небольшое, по сравнению с поверхностными водами, содержание органических веществ.

Часто поверхностные и подземные воды сообщаются между

собой, что значительно влияет на их химический состав. В первую очередь это относится к верховодке и грунтовым водам.

В районах повышенной влажности воды верховодки обычно пресные и содержат много органических веществ, солей железа и кремниевой кислоты. В местах интенсивного испарения влаги верховодка высокоминерализована. Из-за отсутствия водоупорной кровли такая вода легко загрязняется, а поэтому в качестве источника водоснабжения используется лишь в крайних случаях.

Грунтовые воды питаются за счет инфильтрации атмосферных осадков и воды поверхностных водоемов в период ее высокого стояния, а иногда и за счет подземных напорных вод. Состав грунтовых вод определяется в основном источниками их питания. Большая роль в формировании состава этих вод принадлежит испарению. Так, в засушливых районах Средней Азии испарение воды приводит к повышению содержания солей в грунтовых водах до 100-200 г/дм³. Содержание органических веществ в грунтовых водах достигает 8 мг/дм³, а мутность их обычно ничтожна.

Межпластовые безнапорные воды - сравнительно редкая разновидность грунтовых вод, которые встречаются в мощных водоносных пластах, перекрытых несколькими слоями пород, среди которых могут находиться и водоупорные. Эти воды обычно не заполняют всего водопроницаемого слоя, уровень их остается свободным, и давление над ним равно атмосферному.

Особо важное значение для водоснабжения имеют артезианские пластовые воды. Они залегают в грунтах между водонепроницаемыми пластами, имеют устойчивый состав, являются наиболее надежными в санитарном отношении и могут использоваться для питьевых целей без всякой обработки. Площадь, занимаемая напорным водоносным пластом, называется *артезианским бассейном*.

Источники питания артезианских вод те же, что и грунтовых, однако формируются они в течение более длительного времени. В верхней зоне активного водообмена с атмосферой артезианские воды обычно слабо минерализованы.

Наиболее крупные запасы артезианских вод в СНГ имеются в Московском, Днепровско-Донецком, Западно-Сибирском и других бассейнах.

Вода под землей может накапливаться в трещинах скальных пород (трещинные воды), а также в крупных полостях и кавернах, появляющихся в результате агрессивного воздействия воды на растворимые горные породы (карстовые воды). В качестве источников водоснабжения эти воды используются редко.

Огромное значение для водоснабжения имеют реки. Состав

примесей речных вод определяется характером питания рек. Различают *поверхностное* и *подземное* питание. Поверхностное питание обеспечивается выпадением дождей, таянием снега, ледниками и т. п., а подземное — главным образом грунтовыми водами (родники, ключи).

Содержание взвешенных веществ в реках изменяется от 2 до 10 000, органических веществ — от 2 до 150, а солей — от 30 до 1500 мг/дм³.

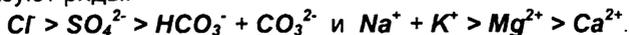
Минимальное содержание солей характерно для рек с поверхностным питанием, а максимальное — для рек, источником питания которых являются подземные воды. Содержание солей в каждой из этих групп рек не является постоянным. В период паводков, когда реки пополняются поверхностными водами, содержание солей в них резко падает.

Воды озер по минерализации делятся на пресные, солоноватые и соленые. Степень минерализации озерной воды зависит не только от климатических условий, но и от наличия у озера стока. Как правило, озера, имеющие сток, пресноводные, содержание минеральных примесей в их воде обычно равно 200-300 мг/дм³. В бессточных озерах минерализация достигает, а иногда и превышает 5 000 мг/дм³. Верхняя граница минерализации воды солоноватых озер составляет 35‰, озера с большим содержанием солей относятся к соляным.

Химический состав озерных вод определяется составом воды питающих притоков и подземных вод. Обычно доминирующими являются ионы HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} ; ионы SO_4^{2-} , Cl , Na^+ и K^+ содержатся в малых количествах, имеются и биогенные элементы. Колебания химического состава воды во многих озерах связаны с изменением состава и объема воды притока; понижением или повышением температуры воды, что вызывает конвекционные и циркуляционные течения; с ледоставом, ухудшающим условия аэрации и перемешивания водных масс; с интенсивностью биологических процессов и др.

Морские воды (океаны, моря) характеризуются повышенной соленостью. Наибольшая соленость морской воды в тропических широтах, она достигает 35-37‰ (в Красном море и Персидском заливе — до 40‰), вблизи экватора она составляет 34‰, в высоких широтах — 30-34‰.

Минерализация морской воды в основном определяется главнейшими ионами и в первую очередь Cl и Na^+ . По концентрации ионы образуют ряды:



Органические вещества в морской воде в основном находятся в растворенном состоянии — 89%; взвешенный детрит составляет

9%, фитопланктон – 2%, зоопланктон – 0,2%.

Качество воды в каналах определяется в основном составом веществ водного объекта, из которого она забирается.

В качестве источников водоснабжения часто используют искусственные водохранилища, минеральный и органический состав воды в которых зависит от характера их питания. В процессе формирования ложа водохранилищ состав воды в них может изменяться. Большое количество питательных веществ, высокая прозрачность воды и солнечная радиация создают благоприятные условия в водохранилищах для развития растительных и животных организмов и обогащения воды органическими веществами.

Болотные воды обычно содержат мало солей, но много органических веществ (в некоторых болотных водах их содержание достигает 850 мг/дм³).

Осадки, выпадающие в виде дождя и снега, относятся к атмосферным водам. Они собираются в искусственных водохранилищах или естественных резервуарах – долинах. Состав таких вод определяется чистотой атмосферы, количеством выпавших осадков, условиями, сопутствующими их выпадению, гидрогеологическими свойствами грунтов бассейна сбора воды, способом ее накопления и хранения. В безводных и засушливых районах атмосферные осадки используются в качестве источников водоснабжения. В состав атмосферных осадков входят газы (O_2 , CO_2 , N_2 и др.), соли, бактерии и другие вещества. Содержание солей и органических соединений в них обычно невелико.

Состав ресурсов гидросферы непрерывно изменяется. Этому способствуют протекающие в них процессы окисления и восстановления, смешения вод различных источников, выпадения в осадок содержащихся в них солей в результате изменения температуры и давления, осаднения и взмучивания грубодисперсных частиц, ионообмена между осадками и водой, обогащения подземных вод некоторыми микроэлементами вследствие биохимических процессов.

Самоочищение воды в открытых водоемах от бактериальных загрязнений происходит за счет сложного комплекса физических, химических и биологических факторов, чему способствует разбавление загрязнений большой массой воды, перемешивание, оседание взвесей, влияние солнечного света, аэрация и т. п. Под влиянием протекающих в воде биохимических процессов, в особенности окислительных, погибают патогенные микробы. Бактерии, кроме того, уничтожаются простейшими, которые заглатывают их как пищу. Разрушающе действуют на бактерии также бактериофаги, микробы-антагонисты и антибиотики биологического происхождения.

Особенно важна роль самоочищения воды в открытых водо-

емах, в частности в реках, содержащих не только естественные загрязнения, но и большое количество сточных вод.

Как правило, естественные факторы очищения источников не обеспечивают надлежащего качества воды, потребляемой для хозяйственно-питьевых и промышленных нужд. В связи с этим практически всегда необходима дополнительная обработка воды для придания ей таких качеств, которые наиболее полно удовлетворяли бы запросы потребителя.

Водные объекты, пригодные в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, делятся на три класса (табл. 1.1.).

Из подземных вод к *первому классу* относятся водоисточники, по всем показателям качества отвечающие СанПиН 10-124 РБ; ко *второму* — водоисточники, качество воды которых несколько отличаются от норм СанПиНа 10-124 РБ, но может быть доведено до этих норм азрированием с последующим фильтрованием и обеззараживанием; к *третьему классу* – водоисточники, качество воды которых может быть доведено до норм СанПиНа 10-124 РБ применением реагентов, дополнительным отстаиванием и фильтрованием, а также методов водоподготовки, предусмотренных для вод второго класса.

Из поверхностных вод к *первому классу* относятся водоисточники, качество воды которых может быть доведено до норм СанПиНа 10-124 РБ коагулированием с последующим фильтрованием и обеззараживанием или только фильтрованием и обеззараживанием; ко *второму* – водоисточники, качество воды которых может быть доведено до норм СанПиНа 10-124 РБ коагулированием, отстаиванием или обработкой в слое взвешенной контактной среды, фильтрованием и обеззараживанием, а при наличии планктона — предварительным микрофильтрованием; к *третьему* – водоисточники, качество воды которых может быть доведено до норм СанПиНа 10-124 РБ технологиями, предусмотренными для вод второго класса с применением дополнительной ступени осветления или окислительных и сорбционных методов.

Показатели качества воды источника по классам приведены в табл. 1.1.

Разрешается использовать источники для хозяйственно-питьевого водоснабжения, выбор которых базируется на рекомендациях Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), согласован с органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы или с медицинскими службами других ведомств, на которые возложено решение этого вопроса. Выбор источника производственного водоснабжения производят с учетом требований, предъявляемых потребителями к качеству воды.

Таблица 1.1. Классификация водных объектов

Наименование показателя	Показатели качества воды источника по классам		
	1	2	3
<i>Подземные воды</i>			
Мутность, мг/дм ³ , не более	1,5	1,5	10,0
Цветность, град, не более	20	20	50
Водородный показатель (рН)	6-9	6-9	6-9
Железо (Fe), мг/дм ³ , не более	0,3	10	20
Марганец (Mn), мг/дм ³ , не более	0,1	1	2
Сероводород (H ₂ S), мг/дм ³ , не более	Отсутствие	3	10
Фтор (F), мг/дм ³ , не более	1,5-0,7*	1,5-0,7*	5
Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /дм ³ , не более	2	5	15
Число бактерий группы кишечных палочек (БГКП) в 1 дм ³ , не более	3	100	1 000
<i>Поверхностные воды</i>			
Мутность, мг/дм ³ , не более	20	5000	10 000
Цветность, град, не более	35	120	200
Запах при 20 и 60°С, баллы, не более	2	3	4
Водородный показатель (рН)	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Железо (Fe), мг/дм ³ , не более	1	3	5
Марганец (Mn), мг/дм ³ , не более	0,1	1,0	2,0
Фитопланктон, мг/дм ³ , не более	1	5	50
Фитопланктон, кл/см ³ , не более	1 000	100 000	100 000
Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /дм ³ , не более	7	15	20
БПК _{пол} , мг O ₂ /дм ³ , не более	3	5	7
Число лактозоположительных кишечных палочек в 1 дм ³ воды (ЛКП), не более	1 000	10 000	50 000

* В зависимости от климатического района.

Примечание. Количество одноклеточных организмов оценивается в кл/см³, пленчатых и нитчатых – в мг/дм³.

1.2. КАЧЕСТВО ВОДЫ ГИДРОСФЕРЫ

Природная вода представляет собой многокомпонентную динамическую систему, в состав которой входят минеральные и органические вещества, находящиеся во взвешенном, коллоидном и истиннорастворенном состояниях, газы, а также макро- и микроорганизмы животного и растительного происхождения.

Концентрация отдельных примесей в воде определяет ее свойства, совокупность которых называется *качеством воды*. Показатели качества воды по СанПиНу 10-124 РБ 99 подразделяются на органолептические (мутность, цветность, запах и привкус), обоб-

щенные (жесткость общая, водородный показатель, окисляемость перманганатная, общая минерализация и др.), неорганические и органические вещества, радиологические, микробиологические и паразитологические, показатели, связанные с технологией водоподготовки.

Температура воды

В источниках водоснабжения температура воды зависит от их происхождения. Воды подземных источников отличаются постоянством температуры (8-12°C), причем с увеличением глубины залегания вод сезонные колебания их температуры уменьшаются. Наоборот, температура вод открытых водоемов (рек, прудов, водохранилищ) меняется по сезонам года (от 0,1 до 30°C) и зависит от нагревания и охлаждения водоемов в течение года. Помимо сезонных изменений на температуру воды в отдельных местах открытых водоемов влияет поступление в них подземных вод, а также промышленных сточных вод. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения предпочтительнее воды с температурой 7-11°C.

Взвешенные вещества, мутность и прозрачность воды

Взвешенные вещества – это содержащиеся в воде нерастворенные и коллоидные частицы минерального и органического происхождения с размером более $1 \cdot 10^{-4}$ мм. Количественно характеризуются массой загрязнений, задерживающихся на самом пористом, типа «белая лента», бумажном или тонком мембранном фильтре при фильтровании пробы воды (обычное давление и слабое разрежение). Фильтр со взвешенными веществами после фильтрования высушивается при 105°C до постоянной массы в сушильном шкафу, и по разнице массы фильтра со взвешенными веществами и без них определяется количество взвешенных веществ в воде.

Взвешенные вещества попадают в воду в результате смыва твердых частиц (глины, песка, лесса, илистых веществ) верхнего покрова земли дождями или талыми водами во время весенних и осенних паводков, а также в результате размыва русел рек.

Наименьшее содержание взвешенных веществ в водных объектах наблюдается зимой, когда они покрыты льдом, наибольшая – весной в период паводка, а также летом вследствие выпадения дождей, таяния снега в горах и развития мельчайших плавающих живых организмов и водорослей. Повышение может быть вызвано выделением из воды некоторых карбонатов, водных оксидов алюминия, марганца, высокомолекулярных органических примесей гумусового происхождения, появлением фито- и зоопланктона, окислением соединений железа (II) кислородом воздуха, сбросом неочищенных производственных сточных вод и др. В зависимости от ко-

личества взвешенных веществ воды поверхностных источников подразделяются по мутности на *маломутные* (до 50 мг/дм³), *средней мутности* (от 50 до 250 мг/дм³), *мутные* (от 250 до 1500 мг/дм³) и *высокомутные* (более 1500 мг/дм³).

Взвешенные вещества различны по гранулометрическому составу, который характеризуется *гидравлической крупностью*, выражаемой как скорость осаждения частиц взвеси при температуре 10°С в неподвижной воде (табл. 1.2.).

Таблица 1.2. *Гидравлическая крупность взвешенных веществ в природных водах*

Взвесь	Гидравлическая крупность, мм/с	Приблизительный размер частиц, мм	Время осаждения частиц на глубину 1м
<i>Песок:</i>			
крупный	100	1,0	10с
средний	50	0,5	20с
мелкий	7	0,1	2,5 мин
<i>Ил:</i>			
крупный	1,7-0,5	0,05-0,027	10-30 мин
мелкий	0,07-0,017	0,01-0,005	4-18ч
<i>Глина:</i>			
крупная	0,005	0,0027	2 сут
тонкая	0,0007-0,00017	0,0001-0,0005	0,5-2 мес
<i>Коллоидные частицы</i>	0,000007	0,0002-0,000001	4 года

Зона водоемов с содержанием взвешенных веществ менее 50 мг/дм³ соответствует географическим зонам тундры и тайги. В степных районах содержание взвешенных веществ в реках достигает 150-500 мг/дм³. Наибольшим содержанием взвешенных веществ характеризуются реки, вытекающие из горных массивов.

Наличие в воде взвешенных веществ препятствует использованию ее для хозяйственно-питьевых целей, в теплоэнергетике, на заводах по приготовлению пищевых продуктов, при производстве бумаги, тканей, киноплёнки и пр.

Содержание в воде взвешенных веществ выражают в миллиграммах на кубический дециметр или в граммах на кубический метр. Для характеристики качества воды применяют показатель *мутность* – физическое свойство воды, обусловленное наличием в ней мельчайших взвешенных минеральных и органических частиц. Мутность воды определяют фотоэлектроколориметрическим методом.

Обратной величиной мутности является *прозрачность* (светопропускание) воды. Ее находят по "кресту" или "шрифту".

Определение основано на измерении высоты водяного столба, сквозь который просматривается черный крест на белом фоне или специальный шрифт. Определение прозрачности по "кресту" ведут при систематическом контроле работы отдельных ступеней очистки воды и при оценке качества фильтрата. В остальных случаях применяют определение прозрачности по «шрифту». Для питьевой воды норма прозрачности по «кресту» — более 300 см, по «шрифту» — более 30 см.

Цветность

Степень окраски природных вод, выражаемая в градусах платиново-кобальтовой шкалы, называется *цветностью*.

Вызывают цветность воды чаще всего органические вещества.

Самыми значительными поставщиками органических веществ в природную воду являются почвенный и торфяной гумус, продукты жизнедеятельности и разложения растительных и животных организмов, сточные воды бытовых и промышленных предприятий. При очистке воды наибольший интерес представляют гумусовые вещества, окрашивающие природные воды в различные оттенки желтого и бурого цветов. Гумусовые вещества представляют собой высокомолекулярные соединения, содержащие в своей основе ядра в виде плоских сеток циклически полимеризованного углерода и боковые цепи линейно полимеризованного углерода с атомными (*H*, *O* и др.) и фенолгидроксильными и карбоксильными ($-OH$, $-COOH$) функциональными группами, которые обуславливают их кислотные свойства.

Они разделяются на гуминовые, ульминовые, креновые, апокреновые (фульвокислоты) и другие кислоты, а также их растворимые в воде соли.

Гуминовые и апокреновые кислоты могут находиться в почве в свободном состоянии, в виде солей с катионами щелочных и щелочноземельных металлов, комплексных и внутрикислотных соединений с железом, алюминием, марганцем, медью и, наконец, в виде адсорбционных органо-минеральных соединений.

Наземная растительность, высшие водные растения, актиномицеты и фитопланктон выделяют бесцветные или окрашенные, без запаха или с запахом вещества, часть из которых превращается в гумусовые соединения.

Для водоемов особую опасность представляют сточные воды, в составе которых есть белки, жиры, углеводы, органические кислоты, эфиры, спирты, фенолы, нефть и др.

В зависимости от наличия гумусовых веществ природные воды подразделяются на *малоцветные* – до 35 град., *средней цветности* – 35-120 град. и *сверхцветные* – свыше 120 град.

Окраска природных вод изменяется от светлых до темных цве-

тов с различного рода оттенками и зависит от состава содержащихся в них органических веществ. Так, например, наименее окисленные формы гумусовых веществ – креновые кислоты придают воде светло-желтую окраску, и, наоборот, более окисленные апокреновые кислоты - меняют окраску воды от розовой до желтой.

Наибольшую цветность имеют природные поверхностные воды рек и озер, расположенных в зонах торфяных болот и заболоченных лесов, наименьшую – в лесостепных и степных зонах.

Зимой количество органических веществ минимальное, однако в период половодья и паводков, а также летом в период массового развития водорослей – «цветения» водоемов – оно повышается.

Наличие в воде органических веществ резко ухудшает органолептические показатели воды, повышает вспениваемость, отрицательно действует на организм человека и животных.

Запах и вкус воды вызывается минеральными и органическими веществами естественного и искусственного происхождения.

Возникновение в водных объектах запахов естественного происхождения (болотного, рыбного, землистого, ароматического, тинистого, сероводородного и др.) связано обычно с жизнедеятельностью, отмиранием и гниением растительных и животных организмов. Например, водорослей (сине-зеленых, диатомовых и др.), плесеней, лучистых грибов, рыб при заморах, трав и т. д. В результате этих процессов в воду выделяются специфические органические вещества: спирты, альдегиды, кетоны, эфиры и др.

Запахи искусственного происхождения вызываются чаще всего сбросом неочищенных сточных вод заводами, фабриками, больницами и др. В результате появляются фенольный, хлорный, хлорфенольный, аптечный, камфорный, эфирный, нефтяной и др. запахи. В зависимости от концентрации содержащихся в воде веществ они могут иметь различную интенсивность.

Различаются четыре основных *вкуса воды*: соленый, горький, сладкий и кислый. Соленый вкус обуславливается обычно растворением в воде хлорида натрия; горький - сульфата магния; сладкий – глюкозы, сахара; кислый — избытка углекислоты.

Оттенки вкусовых ощущений называются *привкусами*. Например, вяжущий (вызывают соли марганца, кальция), железистый (соли железа), щелочной (сода, щелочи). Порог вкусового восприятия солевых добавок в воде характеризуется следующими концентрациями: $NaCl$ – 165, $CaCl_2$ – 470, $MgCl_2$ – 135, $MnCl_2$ – 1,8, $FeCl_2$ – 0,35, $MgSO_4$ – 250, $CaSO_4$ – 70, $MnSO_4$ – 15,7, $FeSO_4$ – 1,6, $NaHCO_3$ – 450 мг/дм³.

Интенсивность и характер запаха, вкуса и привкуса воды определяют органолептически (с помощью органов чувств) и оценивают по пятибалльной шкале (табл. 1.3.)

Таблица 1.3. Характеристика интенсивности запахов и привкусов

Наименование показателей	Характер запахов и привкусов по степени их интенсивности					
	не ощущается	очень слабый	слабый	заметный	отчетливый	очень сильный
Привкусы и запахи	Не обнаруживаются	Обнаруживаются дегустатором	Обнаруживаются потребителем	Обнаруживаются легко	Делают воду неприятной	Делают воду непригодной для питья
Привкусы и запахи, балл	0	1	2	3	4	5
Запах по порогу разбавления	0	2	5	10	50	100

По СанПиНу 10-124 РБ запах питьевой воды не должен превышать 2 баллов.

Удельная электропроводность воды

Электрической проводимостью характеризуется 1см^3 жидкости с размером граней 1см и выражается в См/см (мкОм/см). Является важным показателем качества природной и очищенной воды, указывающим на ее суммарную минерализацию (солесодержание). Удельная электропроводность воды, не содержащей примесей, при 20°C составляет $0,04\text{ См/см}$ и определяется переносом в электрическом поле только ионов H^+ и OH^- . Чем выше электропроводность воды, тем больше ее минерализация.

Определяя величину удельной электропроводности, контролируют работу очистных сооружений и аппаратов водоподготовительных установок. Такое определение особенно эффективно в случаях, когда в процессе водоподготовки изменяется минерализация воды, и предъявляются строгие требования к качеству на отдельных ступенях водоподготовки (например, при H-Na – катионировании или H-OH – ионировании). Вода с весьма высоким омическим сопротивлением, т.е. с низкой удельной электрической проводимостью, используется в радиоэлектронике при изготовлении полупроводников и в др. производствах.

Газы

Из растворенных в природных источниках газов наиболее важными для оценки качества являются O_2 , CO_2 , H_2S , N_2 и CH_4 . Их содержание в воде во многом зависит от природы газа, парциального давления, температуры, состава водной среды и других факторов.

Растворимость газа C в воде определяется по формуле

$$C = K \cdot p,$$

где K – коэффициент пропорциональности, равный растворимости газа при данной температуре и его парциальном давлении 0,1 МПа; p – парциальное давление газа, МПа.

Кислород (O_2). Содержащийся в воде растворенный кислород поступает из атмосферного воздуха, а также образуется результате фотосинтеза водорослями органических веществ (углеводов) из неорганических (угольной кислоты, воды). Содержание кислорода в воде уменьшается вследствие процессов окисления органических веществ и потребления его живыми организмами при дыхании.

Таблица 1.4. Зависимость растворимости кислорода в воде от температуры ($P = 0,1$ МПа)

Температура, °С	Растворимость O_2 , мг/дм ³	Температура, °С	Растворимость O_2 , мг/дм ³
0	14,6	35	7,0
5	12,8	40	6,5
10	11,3	50	5,6
15	10,1	60	4,8
18	9,5	70	3,9
20	9,1	80	2,9
25	8,3	90	1,6
30	7,5	100	0,0

Резкое уменьшение содержания кислорода в воде по сравнению с нормальным свидетельствует о ее загрязнении. Кислород способствует усилению коррозии металла котлов, теплообменной аппаратуры, теплосетей и водопроводных труб. При повышенном содержании кислорода в воде, наоборот, вследствие пассивации поверхности за счет образования оксидных пленок возможно устранение коррозии. Растворимость кислорода в воде обусловлена температурой и давлением. Зависимость растворимости кислорода от температуры воды в чистых поверхностных источниках при давлении 0,1 МПа приведена в табл. 1.4.

Диоксид углерода (CO_2). Присутствие в природных пресных водах растворенного диоксида углерода CO_2 , являющегося ангидридом очень слабой угольной кислоты, обусловлено биохимическими процессами окисления органических веществ в водоемах, в почве, а также дыханием водных организмов и выделением его при геохимических процессах.

Зависимость растворимости диоксида углерода в воде при его равновесном содержании представлена в табл. 1.5. Однако фактическое содержание CO_2 в природных водах бывает в ряде случаев повышенным против значений, приведенных в табл. 1.5. Это объяс-

няется тем, что в процессе окисления органических веществ, брожения разлагающихся органических остатков, дыхания водных организмов, а также в результате сложных геохимических процессов, связанных с метаморфизацией осадочных пород, для достижения его равновесного состояния требуется длительный контакт воды с атмосферным воздухом. При кратковременном контакте воды с воздухом равновесное содержание CO_2 в воде не всегда достигается.

Таблица 1.5. Зависимость растворимости диоксида углерода в воде от температуры ($P = 0,1$ МПа)

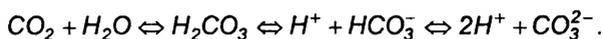
Температура, °С	Растворимость CO_2 , мг/дм ³	Температура, °С	Растворимость CO_2 , мг/дм ³
0	3,371	30	1,324
5	2,808	40	1,055
10	2,36	50	0,866
15	2,001	60	0,719
20	1,723	70	0,625
25	1,511	80	0,552

Диоксид углерода в сочетании с гидрокарбонатами обуславливает буферную емкость воды.

Угольная кислота встречается в природных водах в форме недиссоциированных молекул H_2CO_3 , гидрокарбонатных HCO_3^- и карбонатных CO_3^{2-} ионов. Форму содержащейся в воде угольной кислоты, диссоциирующей ступенчато, можно определить по константам диссоциации, которые определяются зависимостями, рассчитываемыми обычно на общее содержание CO_2 и H_2CO_3 . Для этого необходимо знать значения констант и концентрацию любых двух ионов, входящих в уравнение диссоциации.

Наиболее распространены в природных водах гидрокарбонаты. В некоторых случаях их содержание достигает 1200 мг/дм³. Для поддержания высоких концентраций ионов гидрокарбоната необходимо большое количество CO_2 . В поверхностных водах это не реально, поэтому в реках и пресных озерах содержание HCO_3^- редко превышает 250 дм³.

Наиболее устойчивы в речной воде ионы HCO_3^- в концентрации 50-70 мг/дм³. Различные формы угольной кислоты в водных растворах связаны так называемым динамическим углекислотным равновесием



Количественные соотношения между H_2CO_3 , CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} определяются значениями pH воды (табл. 1.6).

Таблица 1.6. Соотношение форм угольной кислоты в воде при различных значениях pH ($t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Форма угольной кислоты	Значение pH								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Содержание, %								
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$	100	95	70	20	2	-	-	-	-
HCO_3^-	-	5	30	80	98	95	70	17	2
CO_3^{2-}	-	-	-	-	-	5	30	83	98

Угольная кислота может находиться в свободном и в связанном состояниях.

Под свободной угольной кислотой понимают сумму $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2$. Поскольку в природных водах концентрация недиссоциированных молекул угольной кислоты H_2CO_3 составляет лишь доли процента от общего количества свободной угольной кислоты, за свободную кислоту без заметной погрешности принимают концентрацию CO_2 .

В воде поверхностных источников содержание CO_2 не превышает $20\text{--}30\text{ мг/дм}^3$, в подземных неминерализованных водах – 40 мг/дм^3 . В подземных водах CO_2 появляется в результате разложения органических соединений и происходящих биохимических процессов.

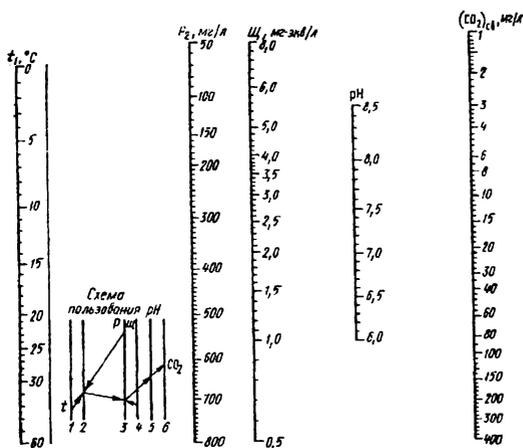


Рис 1.1. Номограмма для определения содержания в воде свободной уголекислоты.

за сопровождается выделением $0,8\text{ мг}$ диоксида углерода, количество которого можно вычислить по уравнению:



Содержание свободной угольной кислоты в воде можно определить по номограмме (рис. 1.1).

Связанная угольная кислота входит в состав гидрокарбонатов и карбонатов. В природных водах содержание карбонатов обычно невелико, за исключением содовых вод, и определяется растворимостью карбоната кальция.

Поэтому под связанной угольной кислотой понимают кислоту, входящую в состав гидрокарбонатов. Содержание их в воде обуславливает так называемый *щелочной резерв (щелочность) воды*.

При наличии ионов Ca^{2+} углекислотное равновесие выражается уравнением



По закону действующих масс константа равновесия этой реакции

$$K_1 = \frac{[Ca_2CO_3][CO_2][H_2O]}{[Ca^{2+}][HCO_3^-]^2}.$$

Если учесть, что концентрация H_2O и $CaCO_3$ – постоянные величины и могут быть введены в константу, а $[Ca^{2+}] = 2[HCO_3^-]$, то

$$K_2 = \frac{[CO_2]}{[HCO_3^-]}.$$

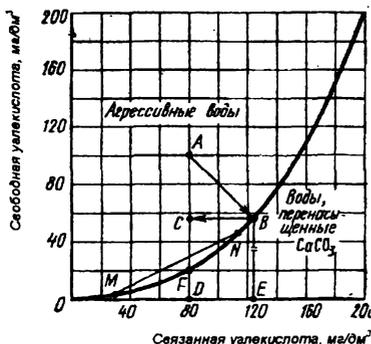


Рис. 1.2. График для определения содержания агрессивной уголекислоты в воде

Из этого выражения видно, что гидрокарбонат-ионы существуют в растворе только при наличии свободной угольной кислоты. Часть свободной угольной кислоты, находящейся в равновесии с гидрокарбонатами, называется равновесной. Она как бы связана с гидрокарбонатами, поэтому не вступает в химические реакции.

Избыточная свободная угольная кислота, в отличие от равновесной, очень активна и носит название *агрессивной*. Со-

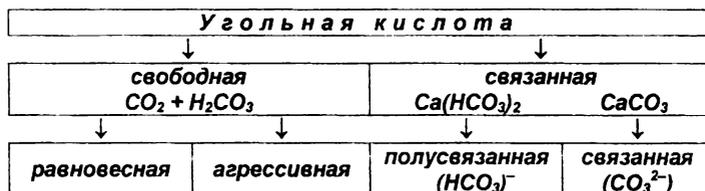
держание агрессивной уголекислоты в воде можно определить по графику (рис. 1.2).

Однако не вся она агрессивна: одна часть избыточной свободной угольной кислоты, действуя на карбонат кальция, превращает его в гидрокарбонат, а другая идет на увеличение количества равновесной угольной кислоты для удержания в растворе вновь образовавшихся количеств гидрокарбоната.

В водах открытых водоемов из-за низкого содержания диокси-

да углерода в атмосферном воздухе присутствие агрессивной угольной кислоты маловероятно. В подземных водах, наоборот, ее содержание иногда бывает весьма значительным.

Состав соединений угольной кислоты, находящихся в воде, можно иллюстрировать такой схемой:

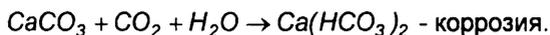


При увеличении в воде концентрации гидрокарбонатов кальция количество равновесной угольной кислоты значительно повышается. Поэтому вероятность наличия агрессивной угольной кислоты больше для мягких, чем для жестких вод.

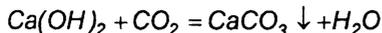
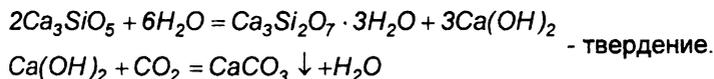
Увеличение соледержания воды приводит к уменьшению в ней количества свободной угольной кислоты, необходимой для поддержания углекислотного равновесия. Поэтому при равном содержании свободной угольной кислоты вода в присутствии большого количества солей будет более агрессивной.

Особенно благоприятные условия для накопления агрессивной угольной кислоты создаются в период весеннего паводка, когда из-за высокой мутности или цветности очищаемой воды приходится вводить, как отмечалось ранее, повышенные дозы коагулянта.

Агрессивные свойства угольной кислоты объясняются ее способностью взаимодействовать с карбонатными породами и переводить их в растворимые в воде гидрокарбонаты, а также некоторым снижением pH среды, в результате чего усиливается электрохимическая коррозия металлов, например, железа:



Действие агрессивной угольной кислоты на бетон сводится к растворению карбоната кальция, образующегося при затвердении цемента и переводу его в хорошо растворимый гидрокарбонат:



Растворение карбоната нарушает равновесие и приводит к разложению других составных частей цемента. Аналогичное действие угольной кислоты происходит при коррозии металлических труб. Вначале под ее воздействием растворяются карбонаты, являющие-

ся составной частью ржаво-карбонатных отложений в водопроводной сети. В дальнейшем материал труб подвергается электрохимической коррозии с образованием новых отложений.

Присутствие в воде агрессивной угольной кислоты может ухудшать работу очистных сооружений за счет усиленного зарастания отстойников сине-зелеными водорослями и заполнения фильтров пузырьками газа.

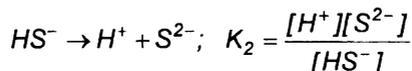
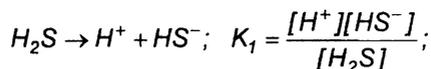
Сероводород (H_2S). Встречается в основном в подземных источниках, образуясь в результате процессов восстановления и разложения некоторых минеральных солей (гипса, серного колчедана и др.). В поверхностных водах он почти не встречается, так как легко окисляется. Появление его в поверхностных источниках может быть следствием протекания гнилостных процессов и сброса неочищенных сточных вод.

В зависимости от значения pH кроме газообразного растворенного сероводорода H_2S в воде могут присутствовать гидросульфид- и сульфид-ионы. Соотношение между различными формами сероводорода при различных значениях pH воды приведено в табл. 1.7.

Таблица 1.7. Соотношение форм сероводорода при различных значениях pH ($t = 25^\circ C$)

Форма сероводорода	Значение pH								
	4	5	6	7	7,5	8	8,5	9	10
	Содержание, %								
H_2S	99,9	98,9	91,8	52,9	26	10,1	3,4	1,1	—
HS^-	0,1	1,1	8,2	47,1	74	89,9	96,6	98,89	99,9
S^{2-}	—	—	—	—	—	—	—	0,01	0,1

Форму сероводорода можно определить также по константам его диссоциации:



(при $25^\circ C, K_1 = 6 \cdot 10^{-8}, K_2 = 1 \cdot 10^{-14}$).

Наличие в воде сероводорода (иногда до $20-40 \text{ мг/дм}^3$) придает ей неприятный запах, ощущаемый уже при его концентрации $0,5 \text{ мг/дм}^3$, интенсифицирует процесс коррозии трубопроводов и вызывает их зарастание вследствие развития серобактерий.

Азот (N_2). Появление азота в природных водах связано с поглощением его из воздуха, восстановлением соединений азота ди-

нитрифицирующими бактериями и разложением органических остатков. Растворимость азота в воде значительно меньше, чем кислорода, однако в связи с высоким парциальным давлением азота в воздухе, в природных водах его больше, чем кислорода (табл. 1.8).

Таблица 1.8. Зависимость растворимости азота в воде от температуры ($P = 0,1$ МПа)

Температура, °С	Растворимость N_2 , $см^3/дм^3$	Температура, °С	Растворимость N_2 , $см^3/дм^3$
0	23,3	50	9,6
10	18,3	60	8,2
20	15,1	80	5,1
30	12,8	100	0
40	11,0		

Метан (CH_4). Чаще всего встречается в подземных водах. Его появление связано с процессом разложения микробами клетчатки растительных остатков. В поверхностные воды метан может попасть в результате сброса неочищенных сточных вод.

В природной воде метана может содержаться до 30 $мг/дм^3$.

Жесткость воды обусловлена наличием в ней катионов кальция и магния, которые присутствуют во всех минерализованных водах. Их источником являются природные залежи известняков, гипса и доломитов. В маломинерализованных водах больше всего катионов Ca^{2+} . С увеличением степени минерализации воды содержание ионов Ca^{2+} быстро падает и редко превышает 1 $г/дм^3$. Содержание же катионов Mg^{2+} в минерализованных водах может достигать нескольких граммов, а в соленых озерах – нескольких десятков граммов на 1 $дм^3$ воды.

Различают *общую, карбонатную и некарбонатную жесткость* воды.

Общая жесткость воды представляет собой сумму карбонатной (временной) и некарбонатной (постоянной) жесткости.

Карбонатная жесткость, связанная с присутствием в воде в основном гидрокарбонатов кальция и магния, почти полностью удаляется при кипячении воды.

Гидрокарбонаты при этом распадаются с образованием угольной кислоты; в осадок выпадают карбонаты кальция и гидроксид магния.

Некарбонатная жесткость обуславливается присутствием кальциевых и магниевых солей серной, соляной, кремниевой и азотной кислот и кипячением не удаляется.

Хотя катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} и не приносят особого вреда организму, однако наличие их в воде в большом количестве нежела-

тельно, поскольку такая вода непригодна для хозяйственно-бытовых нужд. В жесткой воде увеличивается расход мыла при стирке белья, медленно развариваются мясо и овощи. Жесткая вода непригодна и для систем обратного водоснабжения, для питания паровых котлов и использования во многих отраслях промышленности.

Щелочность воды характеризуется наличием в воде анионов слабых кислот и гидроксильных ионов. Различают *общую, гидрокарбонатную, карбонатную и гидратную* щелочность.

Общая щелочность представляет собой сумму содержащихся в воде анионов угольной (HCO_3^- , CO_3^{2-}), кремниевой, фосфорной, гуминовых и др. кислот и гидроксильных ионов OH^- .

Общую щелочность воды Щ можно выразить уравнением

$$\text{Щ} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] + [\text{BO}_2^-] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + 2[\text{HPO}_4^{2-}] + 3[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{HS}^-] + [\text{HSiO}_3^-] + [\text{Гуматы}] - [\text{H}^+].$$

Этот показатель, определяющий буферную емкость природных вод, имеет большое значение в химической технологии водоподготовки.

Гидрокарбонатная щелочность характеризуется наличием в воде анионов HCO_3^- .

Карбонатная щелочность обусловлена присутствием в воде карбонат-ионов CO_3^{2-} .

Гидратная щелочность характеризуется наличием гидроксильных ионов OH^- , возникает при некоторых приемах обработки воды и $\text{pH} > 8,5$.

Щелочные металлы Na^+ и K^+ попадают в природные воды в результате растворения коренных пород. Так, большое количество ионов натрия поступает в воду в результате растворения залежей поваренной соли. Преобладание катионов Na^+ над катионами K^+ в природных водах объясняется большим поглощением калия почвами и извлечением его из воды растениями.

Водородный показатель, или активная реакция среды, т. е. степень ее кислотности или щелочности, определяется концентрацией водородных ионов, точнее, их активностью*. Как известно, вода в незначительной степени диссоциирует на ионы водорода и

* *Активность* представляет собой эффективную концентрацию вещества, учитывающую взаимодействие его ионов или молекул друг с другом, а также с молекулами растворителя. Она позволяет судить об отклонении свойств данного вещества в реальном растворе от его свойств в идеальном растворе. Активность зависит от вида, концентрации каждого компонента раствора, температуры и давления.

гидроксила. В упрощенном виде, без учета воды, гидратирующей протон и гидроксил, процесс диссоциации можно представить в виде $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$. Для этой обратимой реакции константа равновесия определяется уравнением

$$\frac{a_{H^+} \cdot a_{OH^-}}{a_{H_2O}} = K,$$

где a_{H^+}, a_{OH^-} - активности соответствующих ионов.

В связи с тем, что степень диссоциации молекул воды незначительна, воду можно рассматривать как чистое вещество, для которого при стандартных температуре и давлении активность равна единице ($a_{H_2O} = 1$). Тогда $a_{H^+} \cdot a_{OH^-} = K_W$, где K_W - так называемое ионное произведение воды, зависящее только от температуры:

$t, ^\circ C$	$K_W \cdot 10^{-14}$
0	0,11
25	1,01
50	5,47
100	59,0

Поскольку содержание ионов H^+ и OH^- в воде очень мало, активности ионов можно заменить их концентрациями:

$$[H^+][OH^-] = K_W.$$

При комнатной температуре можно принять $K_W = 1 \cdot 10^{-14}$. В нейтральном растворе концентрация водородных ионов равна концентрации гидроксильных ионов:

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ з-ион/дм}^3.$$

При $[H^+] > 10^{-7}$ - растворы имеют кислую реакцию, $[H^+] < 10^{-7}$ - щелочную.

Активную реакцию воды принято выражать *водородным показателем pH*, представляющим собой отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов: $pH = -\lg[H^+]$. Величина pH нейтральных растворов равна 7, кислых растворов - меньше 7 и щелочных растворов - больше 7.

В отличие от чистой воды или нейтральных растворов солей, в которых концентрации $[H^+]$ и $[OH^-]$ настолько малы, что ими можно пользоваться вместо активностей, в кислых и щелочных растворах концентрации этих ионов могут отличаться на несколько порядков по величине. В таком случае вместо концентрации необходимо пользоваться активностью.

В кислых или щелочных растворах ионное произведение воды

выражается зависимостью $a_{H^+} a_{OH^-} = K'_W$. Связь между величинами K_W и K'_W описывается следующим уравнением:

$$K_W f^2 = K'_W,$$

где f – коэффициент активности, зависящий от ионной силы раствора.

Обычно для большинства природных вод величина рН изменяется в пределах 6,5-8,5. На величину рН воды влияют повышенная концентрация гумусовых кислот, загрязнение водоема сточными водами промышленных предприятий и т. п.

Постоянство величины рН, которое имеет большое значение для нормального протекания в воде различных биологических и физико-химических процессов, обеспечивается в природных водах буферной системой, состоящей из растворенной в воде угольной кислоты и ионов HCO_3^- . Угольная кислота диссоциирует на ионы



Константа равновесия при этом определяется из уравнения

$$K = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]},$$

откуда

$$[H^+] = K \frac{[H_2CO_3]}{[HCO_3^-]}.$$

Таким образом, концентрация ионов водорода прямо пропорциональна количеству H_2CO_3 и обратно пропорциональна содержанию HCO_3^- . Концентрация водородных ионов такой буферной системы незначительно изменяется с разбавлением, так как рН системы определяется не концентрацией кислоты и ее соли, а отношением этих концентраций. Прибавление некоторых количеств кислоты или щелочи мало влияет на рН воды, так как при прибавлении к воде щелочи часть ионов H^+ , которые образовались при диссоциации угольной кислоты, связывается в малодиссоциированную воду. Это приводит к диссоциации новых количеств кислоты и восстановлению первоначальной концентрации H^+ . В случае прибавления к воде кислоты избыточные ионы водорода связываются с HCO_3^- в малодиссоциированную угольную кислоту, в результате чего концентрация H^+ в системе также изменяется незначительно.

Хотя емкость гидрокарбонатной буферной смеси в природной воде не очень велика, все же в процессах обработки воды, связанных с подкислением или подщелачиванием, рН последней, как правило, меняется мало. Согласно СанПиН 10-124 РБ 99, рН хозяйственно-питьевой воды должно находиться в пределах 6-9.

Окисляемость воды - это количество кислорода, расходуе-

мое на окисление органических и некоторых легко окисляющихся неорганических ($H_2S, MeSO_3, Fe(II)$ и др.) примесей. Наименьшей окисляемостью характеризуются артезианские воды. Окисляемость грунтовых вод зависит от глубины их залегания и для грунтовых незагрязненных вод близка к окисляемости артезианских. Окисляемость чистых озерных вод в среднем составляет 5-8 мг/дм³ кислорода; в речной воде она колеблется в широких пределах, достигая 60 мг/дм³ и более. Высокой окисляемостью воды отличаются реки, бассейны которых расположены в болотистых местностях. В болотных водах в некоторых случаях она достигает 400 мг/дм³. Увеличение окисляемости воды свидетельствует о загрязнении источника и требует соответствующих мероприятий по его охране. Внезапное повышение окисляемости воды служит признаком загрязнения ее сточными водами, поэтому окисляемость – важная гигиеническая характеристика природных вод.

Повышенная окисляемость питательной воды, поступающей в котлы, вызывает ее вспениваемость, охлаждающей воды – приводит к биообрастаниям труб и оборудования. Она ухудшает процесс изготовления пластмасс, синтетических волокон и др. материалов.

В зависимости от используемого для окисляемости воды окислителя различают *перманганатную* и *дихроматную* окисляемость. Выражают окисляемость в миллиграммах кислорода, расходуемого на окисление примесей в одном дециметре кубическом или литре воды (mgO_2 / dm^3 или $mgO_2 / л$).

Общий, сухой и прокаленный остаток характеризует количество минеральных солей и органических веществ в природных водах.

Общий (или плотный) остаток характеризует содержание в воде в основном минеральных солей. Его определяют выпариванием известного объема нефилтрованной воды с последующим высушиванием при 110°C до постоянной массы.

Сухой или растворенный остаток характеризует содержание в воде минеральных солей и нелетучих органических соединений. Его определяют выпариванием известного объема исследуемой воды, предварительно профильтрованной через бумажный фильтр. Величина сухого остатка (*общей минерализации*) в воде хозяйственно-питьевого назначения по нормам СанПиНа 10-124 РБ 99 не должна превышать 1 000 мг/дм³. При несоблюдении этого условия вода должна опресняться.

Прокаленный остаток характеризует содержание в исследуемой воде неорганических веществ. Его определяют выпариванием известного объема исследуемой воды, прокаливанием

при 800°С полученного остатка и взвешиванием. Количество органических веществ определяют по потере массы при прокаливании. Если пробу воды перед выпариванием не фильтруют, получают прокаленный общий остаток, если фильтруют – получают прокаленный растворенный остаток.

Особые требования по величине растворенного остатка предъявляются к воде, используемой в паровых котлах, при производстве полупроводников, капрона, каучука, кино- и фотопленки и др. Например, в питательной воде для котлов высокого давления величина растворенного остатка должна быть близкой к нулю.

Общая минерализация воды характеризует содержание в ней ионов (солей).

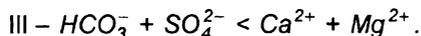
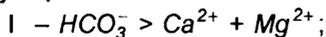
Из веществ, диссоциирующих в водных растворах на ионы, в воде растворяется большинство минеральных солей, кислот и гидроксидов.

В большинстве случаев природные воды содержат ионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Катионы H^+ , NH_4^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} и другие и анионы OH^- , CO_3^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , F^- , Br^- , I^- , HPO_4^{2-} , HSO_4^- , $HSiO_3^-$, BO_2^- , HS^- и другие в природной воде встречаются в незначительном количестве, однако их влияние на свойства и качество воды иногда также очень велико.

В природных водах в большом количестве присутствует семь основных ионов. О.А. Алекин предложил классифицировать природные воды в зависимости от преобладающего аниона.

Согласно этой классификации, природные воды делят на три больших класса: *гидрокарбонатные (и карбонатные)*, *сульфатные* и *хлоридные*.

Каждый класс по преобладающему катиону (Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ , K^+) делят на три группы: кальциевую, магниевую и натриевую. В свою очередь, в группах различают три типа вод, определяемых следующим соотношением:



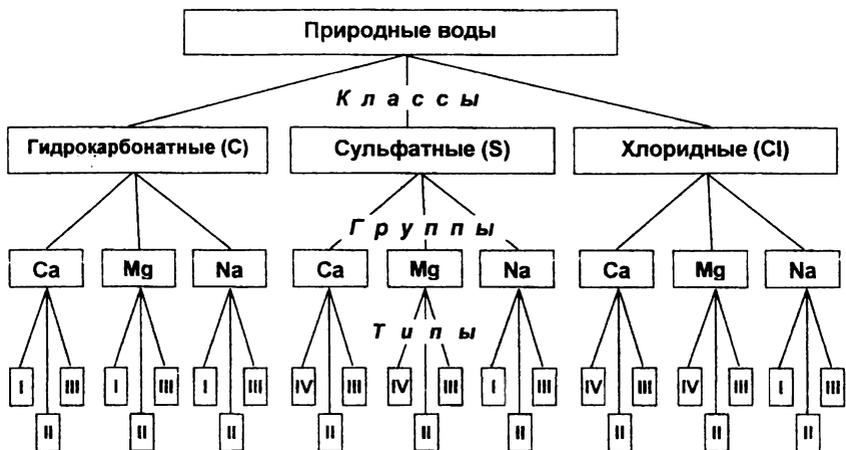


Рис. 1.3. Схема классификации природных вод по преобладающему аниону и катиону и соотношению между главными ионами (по О.А. Алекину)

Использование этой классификации позволяет выяснить происхождение природных вод и охарактеризовать их свойства.

По содержанию ионов (солей) в воде определяют общую степень ее минерализации M

$$M = \sum Кат + \sum Ан,$$

где $\sum Кат$ – сумма катионов, мг/дм³; $\sum Ан$ – сумма анионов, мг/дм³.

Для проверки правильности вычисления степени минерализации природной воды результаты пересчитывают в миллиграмм-эквиваленты на дециметр кубический или литр. При этом суммы концентраций в воде катионов и анионов должны быть равными:

$$\frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16} + \frac{Na^+}{23,0} + \frac{K^+}{39,0} + \dots = \frac{SO_4^{2-}}{48,03} + \frac{Cl^-}{35,46} + \frac{HCO_3^-}{61,03} + \frac{SiO_3^{2-}}{38,03} + \dots$$

В таком балансовом уравнении необходимо учитывать содержание всех ионов, концентрация которых превышает 0,01 мг-экв/дм³. Хорошо выполненным считается анализ при расхождении между суммами в правой и левой частях уравнения $\pm 1\%$; вполне допустимым – при расхождении $\pm 2-3\%$ (при малой степени минерализации). Если погрешность превышает 5%, а при значительной степени минерализации – 3%, то анализ следует считать неточным. Погрешность анализа χ рассчитывают по формуле

$$\chi = \frac{\sum A_n - \sum Kam}{\sum A_n + \sum Kam} \cdot 100,$$

где $\sum A_n$, $\sum Kam$ – соответственно суммы эквивалентных концентраций анионов и катионов.

С учетом степени минерализации природные воды делят на *пресные, минерализованные, с морской соленостью и рассолы* – соответственно содержащие до 1, от 1 до 25, от 25 до 50 и свыше 50 г/дм³ солей.

Основными химическими примесями речных вод, содержащих до 500-600 мг/л растворенных солей, являются ионы Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Маломинерализованные воды рек содержат преимущественно ионы Ca^{2+} и HCO_3^- .

По мере повышения степени минерализации речных вод содержание в них ионов Na^+ , SO_4^{2-} и Cl^- увеличивается, а относительное содержание ионов Ca^{2+} уменьшается, поскольку $CaCO_3$ и $CaSO_4$ выпадают в осадок из-за малой растворимости (растворимость $CaCO_3$ составляет 0,013, $CaSO_4$ – 2,020 г/дм³). Вследствие лучшей растворимости карбоната магния $MgCO_3$ и сульфата магния $MgSO_4$ ионы Mg^{2+} могут содержаться в больших концентрациях.

В зависимости от содержания солей степень минерализации воды в реках может быть *очень малой* (≤ 100 мг/дм³), *малой* (100-200), *средней* (200-500), *повышенной* (500-1 000) и *высокой* ($> 1 000$ мг/дм³).

Подземные воды разнообразны по химическому составу. Степень их минерализации зависит от условий залегания водоносного горизонта и колеблется от 100-200 мг/дм³ до нескольких граммов на дециметр кубический или литр. В пресных артезианских водах преобладают катионы Ca^{2+} и анионы HCO_3^- . По мере повышения степени минерализации подземных вод возрастает относительное содержание ионов Na^+ , SO_4^{2-} и Cl^- .

Содержание солей в водах океанов и некоторых морей достигает 50 ‰ и более (например, содержание солей в воде Красного моря составляет около 42 ‰). Основными химическими примесями морских вод являются ионы Na^+ и Cl^- , составляющие в сумме около 30 ‰. Содержание солей в водах внутренних морей значительно меньше. Например, в воде Каспийского моря содержится около 13 ‰ растворенных солей, Черного – около 16 ‰, Балтийского – около 7,5 ‰.

Большое количество растворенных в воде солей ухудшает

вкусовые качества воды и приводит к гиперминерализации организма, вызывая у людей различные функциональные заболевания.

В соответствии с СанПиНом 10-124 РБ 99 общая минерализация в питьевой воде не должна превышать $1\ 000\ \text{мг/дм}^3$

Соединения железа и марганца в ионном состоянии находятся в очень небольших концентрациях. Большая часть железа и марганца в природных водах содержится в виде коллоидов и суспензий. В подземных водах соединения железа и марганца преобладают в виде гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов, в поверхностных – в виде органических комплексных соединений (например, гуминовых кислот) или в виде тонкодисперсной взвеси.

В поверхностных водах содержание железа и марганца в большинстве случаев невелико (до $1\ \text{мг/дм}^3$) железа и до $0,05\ \text{мг/дм}^3$ марганца). В подземных артезианских водах часто превышает $15\text{--}20\ \text{мг/дм}^3$, а в шахтных водах, как показали исследования Г.И. Николадзе, достигает нескольких сотен мг/дм^3 и более.

Длительное употребление человеком воды с повышенным содержанием железа может привести к заболеванию печени (гемосидерит); такая вода имеет неприятную красновато-коричневую или черную окраску и железистый привкус. По СанПиНу 10-124 РБ 99 норма железа (суммарно) в хозяйственно-питьевой воде $0,3$, марганца (суммарно) – $0,1\ \text{мг/дм}^3$.

Соединения железа и марганца способствуют развитию в трубах и тепло-обменных аппаратах железистых и марганцевых бактерий, продукты жизнедеятельности которых вызывают уменьшение сечения труб, а иногда их полную закупорку. Содержание соединений железа и марганца ограничивается в воде, используемой при производстве бумаги, пластмасс, кино- и фотопленки, в пищевой, текстильной, легкой и других видах промышленности.

Соединения азота встречаются в природной воде в виде ионов NH_4^+ , NO_2^- и NO_3^- . Появление этих ионов в природных водах связано с разложением различных сложных органических веществ животного и растительного происхождения, а также с разложением белковых веществ, попадающих в водоемы с бытовыми сточными водами.

Нитраты содержатся главным образом в поверхностных водах (до $0,001\text{--}0,003\ \text{мг/дм}^3$), нитриты – в артезианских (десятичные доли миллиграмма в дециметре кубическом или литре).

Повышенное содержание нитратов ($>50\ \text{мг/дм}^3$) в воде, постоянно используемой для питья, приводит к нарушению окислительной функции крови – метагемоглобинемии.

Конечный продукт разложения белковых веществ – аммиак.

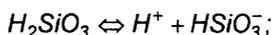
Наличие в воде аммиака растительного или минерального происхождения не опасно в санитарном отношении. Если же аммиак образуется в результате разложения белка сточных вод, такая вода непригодна для питья.

Содержание азота аммонийных солей в речной воде в зависимости от степени ее загрязнения колеблется от 0 до 1 мг/дм³.

В соответствии с нормами СанПиНа 10-124 РБ 99 содержание нитратов (в пересчете на NO_3^-) не должно превышать 45 мг/дм³.

Кремний присутствует в природных водах в виде ионов, молекул и коллоидных частичек. Форма содержания кремниевой кислоты в воде зависит от многих факторов и, в первую очередь, от ее ионного состава и значения pH (табл. 1.9).

Кремниевая кислота H_2SiO_3 диссоциирует в две стадии:



$$K_1 = \frac{[H^+][HSiO_3^-]}{[H_2SiO_3]}; \quad K_2 = \frac{[H^+][SiO_3^{2-}]}{[HSiO_3^-]}$$

(при 25°C $K_1 = 1 \cdot 10^{-10}$, $K_2 = 2 \cdot 10^{-12}$).

Таблица 1.9. Соотношение форм кремниевой кислоты в воде при различных значениях pH (t=25°C)

Форма кремниевой кислоты	Значение pH						
	5	6	7	8	9	10	11
	Содержание, %						
H_2SiO_3	100	99,9	99,0	90,9	50,0	8,9	0,8
$HSiO_3^-$	–	0,1	1,0	9,1	50,0	91,0	98,2
SiO_3^{2-}	–	–	–	–	–	0,1	1,0

Содержание кремния в природных водах в пересчете на SiO_3^{2-} обычно достигает 0,6–40 мг/дм³ и лишь в отдельных случаях может повышаться до 65 мг/дм³.

Кремниевая кислота не вредна для здоровья, однако повышенное содержание ее в воде делает воду непригодной для питания паровых котлов высокого и сверхвысокого давления из-за образования силикатной накипи и в ряде производств.

Соединения фосфора встречаются в природных водах в небольших количествах в виде HPO_4^{2-} – ионов и органических комплексов фосфорной кислоты или в виде взвешенных частичек орга-

нического и минерального происхождения.

Оказывают существенное влияние на рост и развитие водной растительности.

Фтор в природных водах встречается в концентрациях от 0,01 до 50-100 мг/дм³ (Кения). В большинстве поверхностных источников водоснабжения концентрации фтора низкие. Лишь в открытых водоемах Казахстана концентрация фтора достигает 11, а в водоемах Азербайджана – 3,6 мг/дм³.

Подземные воды (артезианские, колодезные) богаче по содержанию фтора. Например, в подземных водах Молдавии содержится до 12 мг/дм³ фтора. Однако среди этих источников 67-97,6 % в Республике Беларусь, 68-89 % в России, 60-67 % на Украине содержат менее 0,5 мг/дм³ фтора.

Недостаток фтора в воде приводит к заболеванию кариесом (вызывает разрушение зубов), избыток – флюорозом (происходят изменения в скелете).

В соответствии с нормами СанПиНа 10-124 РБ 99 содержание соединений фтора (фторидов) в питьевой воде не должно превышать 1,5 мг/дм³.

Йод в природных водах содержится в очень малых количествах, однако является чрезвычайно важным, биологически активным микроэлементом. Отсутствие или недостаток его в воде приводит к заболеванию людей эндемическим зобом. В питьевой воде содержание йода должно быть не менее 10⁻⁸ мг/дм³.

Значительно влияют на здоровье человека микроэлементы *бром, бор и др.*

Хлориды и сульфаты в природных водах содержатся в широких пределах (от долей миллиграмма до нескольких граммов на дециметр кубический или литр). Это обусловлено вымыванием из пород хорошо растворимых натриевых, кальциевых и магниевых солей. Например, растворимость хлорида натрия при 18°C составляет 360 г/дм³, хлорида магния – 545 г/дм³.

Вода с большим содержанием хлоридов и сульфатов разрушающе действует на бетонные конструкции, имеет повышенную коррозионную активность, более высокую некарбонатную жесткость и повышенный растворенный остаток. Последнее служит препятствием для использования воды в производстве бумаги, ряда полимеров, синтетического каучука и др., а также для питания паровых котлов.

Повышенное содержание хлоридов и сульфатов в питьевой воде придает ей соленый вкус и нарушает деятельность желудочно-кишечного тракта.

Норма хлоридов в питьевой воде по СанПиНу 10-124 РБ 99 не должна превышать 350 мг/дм³, сульфатов – 500 мг/дм³.

Ядовитые и радиоактивные вещества в природных водах в естественном состоянии встречаются, как правило, в незначительных количествах.

Катионы Pb^{2+} , Cu^{2+} , Be^{2+} , Mo^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Se^{6+} , As^{3+} , As^{5+} и др., относящиеся к ядовитым, а также органические вещества, относящиеся к отравляющим (ОВ), попадают в водные объекты чаще всего в результате сброса неочищенных бытовых и промышленных сточных вод. Они вредно влияют на организм человека и теплокровных животных даже при наличии нескольких миллиграммов, губительно действуют на рыб и кормовые ресурсы, тормозят процессы самоочищения водоемов.

Радиоактивные вещества, попадающие в поверхностные и подземные воды, бывают природного и искусственного происхождения. Наличие в воде природных радиоактивных веществ обусловлено соприкосновением ее с минералами, содержащими радиоактивные изотопы ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , а также взаимодействием с атмосферой, из которой в воду попадают продукты «космического синтеза» элементов (^{14}C , ^{10}Be , 3H). Степень радиоактивного загрязнения воды в этом случае обычно невелика.

Сточные воды предприятий атомной промышленности, научно-исследовательских, медицинских и других учреждений, использующих в своей работе радиоактивные изотопы, аварии на атомных электростанциях являются причиной загрязнений природных вод искусственными радиоактивными элементами. Ненадежная изоляция твердых и полужидких радиоактивных отходов при их захоронении также может привести к заражению подземных и поверхностных вод искусственными радиоактивными изотопами.

При обнаружении в воде нескольких токсических или радиоактивных веществ сумма концентраций или излучений, выраженная в долях от максимально допустимых концентраций каждого вещества в отдельности, не должна превышать 1. Расчет ведется по формуле

$$\frac{C_1}{C_1} + \frac{C_2}{C_2} + \dots + \frac{C_n}{C_n} \leq 1,$$

где C_1, C_2, \dots, C_n – содержание токсических (радиоактивных) веществ, мг/дм³; C_1, C_2, \dots, C_n – нормы по стандарту, мг/дм³.

Гидробионты, к которым относятся водные микро- и макроорганизмы животного (гидрофауна) и растительного (гидрофлора) происхождения, влияют не только на состав окружающей водной

среды, но и на физико-химический состав воды. В зависимости от глубины обитания в воде они подразделяются на:

- *планктон* – совокупность организмов, населяющих толщу воды и пассивно переносимых водными течениями. В состав планктона входят животные (зоопланктон) и растения (фитопланктон). Зоопланктон населяет всю толщу воды, фитопланктон, нуждающийся в солнечном свете, распределяется только в поверхностном слое;

- *нейстон* – организмы, обитающие в тонком поверхностном слое воды (простейшие, бактерии);

- *бентос* – совокупность организмов, средой обитания которых являются донные отложения водных объектов. Разделяются на *зообентос* (животные организмы) и *фитобентос* (растительные организмы).

- *пагон* – совокупность организмов, встречаемых в толще льда (обычно в состоянии анабиоза). В пагон входят простейшие, черви, ракообразные, насекомые, паукообразные, коловратки, некоторые растения.

Гидрофауна, к которой относятся рыбы, ракообразные, черви, моллюски, простейшие и другие организмы, используя для питания растворенные органические и минеральные вещества, водоросли, бактерии и т.д., оказывают существенное влияние на самоочищение водных объектов и формирование в них стабильного качества воды.

Гидрофлора, представленная макрофитами (высшая водная растительность) и микрофитами (низшая водная растительность) в результате фотосинтеза увеличивает содержание в воде растворенного кислорода, снижает содержание свободного оксида углерода (IV), аммонийных солей, многих токсичных соединений, биологическое потребление кислорода (БПК). И, наоборот, в результате жизнедеятельности, отмирания и гниения обогащает воду многими органическими веществами, в т.ч. ядовитыми, вызывает интенсивные запахи, особенно в период «цветения» воды (массового развития сине-зеленых и др. водорослей), приводит к замору рыб и другой гидрофауны. Все это, в конечном счете, усложняет технологию водоподготовки.

Бактерии – простейшие, в основном одноклеточные безъядерные организмы, размножающиеся делением.

Бактерии, размножение, рост и развитие которых происходит за счет живых субъектов, называются *паразитами*. В неблагоприятных условиях они могут образовывать споры, которые в жизнеспособном состоянии сохраняются сотни лет. В благоприятных условиях споры прорастают и бактерии вновь размножаются.

Попадая с водой в организм человека и животных, бактерии вызывают заболевания дизентерией, гепатитом, холерой, бруцеллезом, гастроэнтеритом, конъюнктивитом, брюшным тифом и др.

Рост и развитие бактерий в водных объектах угнетается грибковыми организмами, выделяющими пенициллин, стрептомицин и другие антибиотики. Летальное действие на бактерии оказывают также ультрафиолетовые лучи и солнечный свет.

Жизнедеятельность бактерий в водных объектах обеспечивается в основном нейтральными значениями pH. Однако для серобактерий оптимальной величиной pH воды являются пределы от 1 до 4, для кишечной палочки (бактерии *Coli*) – 4,4-7,8; для нитратных бактерий – 6,5-9,3, нитритных – 4,7-8,8.

Загрязненность воды микроорганизмами зависит от происхождения и характера источника. Лучшими в этом отношении являются артезианские воды, но и они могут загрязняться в результате транспортирования их по трубам и нарушения санитарного режима в местах водозабора. Особенно подвержены загрязнению микроорганизмами поверхностные воды, поэтому использование их в неочищенном виде всегда представляет большую опасность в связи с возможностью возникновения и распространения инфекционных заболеваний.

Вирусы представляют собой мельчайшие неклеточные организмы с белковой оболочкой, под которой находится нуклеиновая кислота, несущая генетическую информацию. Это внутриклеточные паразиты, среди которых встречаются бактериофаги, паразитирующие в клетках бактерий и вызывающие их разрушение и гибель.

Инфекционные свойства вирусы сохраняют длительное время. Например, вирусы Коксаки сохраняют свою активность при температуре 4-6°C до 11 дней. Погибают вирусы при температуре 90°C. Они более стойки к окислителям и ультрафиолетовым лучам, чем бактерии.

В соответствии с нормами СанПиН 10-124 РБ 99 безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям.

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СОСТАВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ИХ ФАЗОВО-ДИСПЕРСНОГО СОСТОЯНИЯ

1.3.1. Классификация примесей воды

При многообразии присутствующих в воде примесей и загрязнений первостепенное значение для разработки экономичных способов очистки воды имеет научно-обоснованная классификация, позволяющая объединить их по признаку общих свойств в отдельные группы. Эта идея осуществлена в классификации примесей воды, основанной на общности их физико-химического поведения в водных средах, а именно на их способности образовывать гомогенные или гетерогенные водные системы (табл. 1.10).

При такой классификации загрязнений выбор методов их удаления определяется, в первую очередь, физическим состоянием примесей, а в случае гетерогенных систем - и их дисперсностью.

Особенностью классификации является то, что она отражает не только индивидуальные свойства отдельных примесей, но и свойства системы в целом, характеризуя взаимодействие компонентов с водной средой. Это дает возможность обоснованно выбирать способы эффективного воздействия на систему с целью изменения в желаемом направлении физико-химических свойств ее отдельных компонентов. Последнее обстоятельство особенно важно для выбора очистки воды, поскольку подобного рода превращения лежат в основе большинства технологических процессов водоподготовки.

Сопоставление методов, применяемых на практике для очистки воды, показывает, что, как правило, все они определяются прежде всего фазово-дисперсным состоянием примесей.

Индивидуальная химическая природа веществ, загрязняющих воду, имеет значение лишь в той степени, в какой она влияет на изменение этого состояния под воздействием различных факторов. Данные представления и были положены в основу разработанной классификации примесей воды.

Сущность классификации заключается в том, что все примеси воды по отношению к дисперсионной среде разделены на четыре группы, из которых две относятся к гетерогенным системам, две – к гомогенным. *Гетерогенные системы* представлены в воде взвесьями или коллоидами, эмульсиями или пенами, а *гомогенные* – веществами, образующими с водой молекулярные и ионные растворы.

Выбранный порядок расположения систем и групп веществ с повышающейся дисперсностью целесообразен с технологической точки зрения, так как очистка воды обычно начинается с удаления грубодисперсных и коллоидно-дисперсных примесей и загрязнений.

Таблица 1.10. Классификация примесей воды по фазово-дисперсному составу и процессы, используемые для удаления примесей (Л.А. Кульского)

Система			
Гетерогенная		Гомогенная	
Взвеси (суспензии и эмульсии, обуславливающие мутность воды, а также микроорганизмы и планктон)	Коллоидные растворы и высокомолекулярные соединения, обуславливающие окисляемость воды, а также вирусы	Молекулярные растворы (газы, растворимые в воде органические вещества, придающие ей запахи и привкусы)	Ионные растворы (соли, кислоты, основания, придающие воде минерализованность, кислотность или щелочность)
Группа			
I (10^{-2} - 10^{-4} см)	II (10^{-5} - 10^{-8} см)	III (10^{-5} - 10^{-7} см)	IV (10^{-7} - 10^{-8} см)
Механическое безреагентное разделение	Диализ, ультрафильтрация	Азрирование, эвапорация, десорбция газов и летучих органических соединений при азрировании	Гиперфильтрация
Окисление хлором, озоном и др.	Окисление хлором, озоном и др.	Окисление хлором, оксидом хлора (IV), озоном, перманганатом калия	Перевод ионов в малодиссоциированные соединения
Адгезия на гидроксидах алюминия или железа, а также на зернистых и высокодисперсных материалах	Адсорбция на гидроксидах алюминия или железа, а также на высокодисперсных глинистых материалах	Адсорбция на активированном угле и других материалах	Фиксация ионов на твердой фазе ионитов
Флотация суспензий и эмульсий	Коагуляция коллоидных систем	Экстракция органическими растворителями	Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды
Агрегация флокулянтами	Агрегация высокомолекулярными флокулянтами катионного типа	Ассоциация молекул	Перевод ионов в малорастворимые соединения
Бактерицидное воздействие на патогенные микроорганизмы и споры	Вирулицидное воздействие	Биохимическое разложение	Выделение ионов металлов микроорганизмами
Электрофильтрация и электроудерживание микроорганизмов	Электрофорез и электродиализ	Поляризация молекул в электрическом поле	Использование подвижности ионов в электрическом поле

Методы удаления примесей и загрязнений являются наиболее общими, широко применяющимися на всех очистных сооружениях промышленных и коммунальных водопроводов, а также цехов очистки промышленных сточных вод.

Извлечение из воды веществ в молекулярной и ионной формах относится к специальным методам ее очистки и используется в необходимых случаях в качестве дополнительных к основному технологическому комплексу, обеспечивающему удаление грубодисперсных и коллоидно-дисперсных примесей.

1.3.2. Физико-химическая характеристика дисперсных и растворимых примесей воды

Гетерогенные системы в воде обусловлены присутствием в ней растворимых или малорастворимых соединений. Нерастворимые частицы, состоящие из большого числа атомов или молекул, образуют дисперсную фазу, а вода, в которой они распределены, - дисперсионную среду. Фаза представляет совокупность однородность частей системы, одинаковых по составу и физико-химическими свойствам, и отделенных от других частей системы поверхностью раздела.

Существование поверхности раздела является обязательным признаком гетерогенных систем. Особые свойства и строение пограничных межфазных слоев, обладающих в высокодисперсных системах большой свободной поверхностной энергией, в значительной степени определяют поведение таких систем, их агрегативную и кинетическую устойчивость. Величина межфазной поверхности зависит от размера частиц дисперсной фазы – чем меньше размер частиц, тем больше удельная поверхность и тем сильнее влияние поверхностных явлений на свойства системы.

Крупные частицы примесей не образуют с водой устойчивых гетерогенных систем, так как быстро оседают на дно под действием гравитационных сил. Скорость седиментации зависит от формы частиц, соотношения силы тяжести, приводящей к их осаждению, и силы трения, препятствующей этому процессу. Водные дисперсии, содержащие частицы размером более 10^{-3} см, обладают, как правило, полной кинетической неустойчивостью. При уменьшении размера частиц до 10^{-4} - 10^{-5} см образуются гетерогенные системы, для которых характерны сравнительно небольшая удельная поверхность дисперсной фазы, слабая интенсивность теплового движения частиц и невысокая кинетическая устойчивость. К таким системам относятся суспензии, эмульсии и пены.

Интервал размеров частиц 10^{-5} - 10^{-6} см соответствует области существования коллоидно-дисперсных систем с сильно развитой межфазной поверхностью, довольно интенсивным тепловым движением частиц и относительно высокой кинетической устойчивостью. Благодаря большой межфазной поверхности коллоидных сис-

тем первостепенное значение для них имеют явления, происходящие в пограничных поверхностных слоях (образование двойных электрических слоев, сольватных оболочек, проявление сил молекулярного взаимодействия между коллоидными частицами, а также между частицами и дисперсионной средой и др.).

Вследствие некомпенсированности молекулярных сил в поверхностных межфазных слоях гетерогенные системы обладают большой свободной энергией и термодинамически, как правило, неустойчивы. Самопроизвольные процессы в таких системах идут в направлении укрупнения частиц и уменьшения межфазной поверхности раздела. Дисперсность коллоидных частиц соответствует пределу, выше которого при дальнейшем уменьшении размеров частиц утрачивается физическая поверхность раздела, и дисперсные системы переходят в истинные растворы (молекулярные и ионные).

Особыми свойствами обладают высокомолекулярные соединения с молекулярной массой, выражающейся десятками и сотнями тысяч, а иногда и миллионами единиц. Растворы таких веществ представляют собой однофазные, термодинамически устойчивые, обратимые системы. Однако, несмотря на то, что в данном случае высокомолекулярные соединения находятся в истинно растворенном состоянии, их растворы обладают некоторыми свойствами коллоидных систем. Это объясняется тем, что макромолекулы по своим размерам приближаются к коллоидным частицам и граница их контакта с дисперсионной средой подобна межфазной поверхности в гетерогенных системах. В подобных случаях, когда частицы находятся как бы на грани перехода в самостоятельную фазу, возможно расхождение структурных и термодинамических критериев фазового состояния, проявление гомогенности по одним свойствам и гетерогенности - по другим.

Растворы высокомолекулярных соединений, ранее рассматривавшиеся как гидрофильные коллоидные системы, обладают свойствами, присущими гидрофобным коллоидно-дисперсным системам (медленной диффузией, низким осмотическим давлением, способностью к диализу, светорассеянием, двойным лучепреломлением при течении и др.). Поэтому такие примеси и загрязнения воды целесообразно рассматривать в одной группе с веществами, образующими коллоидные растворы.

Гомогенные системы в воде представляют собой истинные (молекулярные и ионные) растворы различных веществ. Истинные растворы являются термодинамически устойчивыми системами и могут существовать без изменений сколь угодно долго. Несмотря на большое разнообразие соединений, образующих с водой растворы, многие свойства оказываются общими для всех растворов. Так, все

растворы электролитов обладают способностью проводить электрический ток, а количественные зависимости, наблюдаемые при электролизе, справедливы для любых растворов. Направленное движение ионов или молекул в растворах происходит не только под влиянием разности потенциалов, но и вследствие градиента концентрации (диффузия). Диффузионный поток растворенного вещества при этом направлен из области с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией, а поток растворителя – в обратном направлении. Для всех растворов нелетучих веществ в летучих растворителях характерна более высокая по сравнению с чистым растворителем температура замерзания. Повышение температуры кипения и понижение температуры замерзания будет тем большим, чем больше концентрация раствора.

Если раствор какого-либо вещества отделить от растворителя полупроницаемой перегородкой, сквозь которую могут проходить молекулы растворителя, произойдет самопроизвольный переход растворителя в раствор. Это явление называется осмосом. Характерно, что осмотическое давление для любых достаточно разбавленных растворов, за исключением растворов электролитов, зависит только от концентрации раствора и его температуры и не зависит от вида растворенного вещества и растворителя.

Истинные растворы представляют собой довольно сложные системы, так как вода служит не просто средой, в которой распределены молекулы или ионы другого вещества, а компонентом, взаимодействующим с растворенным веществом и влияющим на его свойства. В результате взаимодействия воды и растворенного вещества образуются гидраты, а соединение частиц растворенного вещества друг с другом приводит к образованию ассоциатов. Гидраты чаще всего являются соединениями неопределенного состава, общую формулу которых можно представить в виде $xA \cdot yH_2O$, где A – частицы растворенного вещества (молекулы или ионы). Число молекул воды, взаимодействующих с ионом (молекулой) растворенного вещества, называется *гидратационным числом*.

При образовании гидратов преобладают силы электростатического взаимодействия полярных молекул воды и электрически заряженных ионов. Способность молекул воды к ориентации и образованию связи с гидратируемым ионом определяется напряженностью поля вокруг иона, которая, в свою очередь, зависит от его размера и заряда. С увеличением валентности и уменьшением радиуса ионов возрастает их склонность к гидратации. Следует отметить, что природа сил, действующих между гидратируемыми частицами и молекулами воды, до конца еще не выяснена. При гидратации кроме сил электростатического притяжения могут проявляться индук-

ционное, дисперсионное и другие виды взаимодействия.

Гидратация ионов оказывает большое влияние не только на их свойства (подвижность, коэффициенты диффузии, числа переноса, способность к ассоциации), но и на свойства и структуру воды (активность воды в растворе, самодиффузию, вязкость и пр.). По возмущающему действию на структуру воды различают ионы, разрушающие структуру воды (отрицательно гидратирующиеся ионы) и укрепляющие ее (положительно гидратирующиеся ионы).

Значение химического взаимодействия при образовании растворов впервые отметил Д.И. Менделеев, создавший химическую теорию растворов. Общей количественной теории растворов пока не существует, что объясняется трудностями выяснения самой природы растворов и жидкого состояния вообще.

Важной характеристикой растворов служит их концентрация. Обычно содержание растворимых примесей в природных водах выражают в массообъемных единицах (мг/дм³, мг/л или мкг/л). Как правило, в воде, используемой в промышленности, сельском хозяйстве и для хозяйственно-бытовых целей, суммарное содержание растворенных примесей не превышает 0,01 моль/л. Это отвечает области применимости зависимостей Аррениуса–Дебая–Гюккеля для растворов электролитов и законов Вант-Гоффа, Рауля, М.И. Коновалова для молекулярных растворов.

Основным термодинамическим свойством, характеризующим состояние компонента в растворе, является его *химический потенциал*. Он одинаков во всех равновесных фазах компонента. При неравенстве химических потенциалов наблюдается соответственно растворение фазы или выделение ее из раствора. В общем случае химический потенциал μ_i – функция давления p , температуры T , массы компонентов n_i , поверхности фаз S , электрического заряда ϵ и т. д. Его можно выразить как частную производную внутренней энергии U , энтальпии H , изохорного F и изобарного G потенциалов:

$$\mu_i = \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{V, S, / n} = \left(\frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{V, S, / n} = \left(\frac{\partial F}{\partial n_i} \right)_{V, T, / n} = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{p, T, / n},$$

где V – объем системы; $/ n$ – массы остальных компонентов ($n_1, n_2, \dots, n_{i-1}, n_{i+1}, \dots, n_k$). При наличии в растворе нескольких компонентов применяется уравнение Гиббса – Дюгема (при $pT = \text{const}$):

$$\sum n_i \delta \mu_i = 0$$

Химический потенциал компонента в растворе связывается с активностью a и коэффициентом активности f соотношениями

$$\mu_i = G + RT \ln a_i; \quad \mu_i = G + RT \ln fN_i.$$

1.3.3. Физико-химическая характеристика различных групп примесей и загрязнений воды

Все примеси природных вод, независимо от свойств и концентрации, как уже отмечалось, по их фазово-дисперсному состоянию могут быть разделены на четыре группы (табл. 1.10).

Между состояниями веществ, четко определяющими их положение в каждой из групп, существуют еще и промежуточные состояния, обусловленные динамической связью между описанными системами. Так, молекулярные растворы могут быть частично диссоциированы (слабые электролиты), а при ассоциации частиц они приближаются к коллоидным растворам. Промежуточное положение между коллоидными и молекулярными растворами занимают и высокомолекулярные соединения. Последние могут также содержать ионогенные группы, способные (в определенных условиях) обменивать подвижные ионы на ионы, находящиеся в растворе. С учетом взаимосвязи подобных систем в разработанной классификации предусмотрена возможность перевода загрязняющих веществ из одного фазового состояния в другое с помощью различных физико-химических методов.

Первая группа веществ представляет собой нерастворимые примеси с величиной частиц 10^{-5} - 10^{-3} см, образующие с водой суспензии, эмульсии или пены. Эти примеси обуславливают мутность воды, в некоторых случаях могут придать ей цветность.

Для удаления из воды веществ первой группы используются главным образом методы, основанные на действии гравитационных сил и сил адгезии. В состав данной группы входят глинистые вещества, карбонатные породы, ил, мелкий песок, малорастворимые гидроксиды металлов, взвеси органических веществ, детрит, планктон, волокна, пластмассы, каучук и т. д.

Системы, образованные примесями первой группы, кинетически неустойчивы. Нерастворимые вещества удерживаются во взвешенном состоянии динамическими силами потока воды. В состоянии покоя для таких систем характерна седиментация взвешенных частиц. Она может протекать без слипания частиц или с их агрегацией в процессе осаждения. Различают свободное осаждение частиц системы, когда взвешенные вещества не оказывают взаимного влияния друг на друга, и сопряженное или стесненное осаждение в случае концентрированных суспензий. При седиментации очень часто наблюдаются ортокинетическая коагуляция, аутокоагуляция и другие явления. В зависимости от адгезионного взаимодействия седиментирующих взвесей осадок образуется либо рыхлый (легкоподвижный или структурированный с тиксотропными свойствами), либо

плотный, малоподвижный и занимающий малый объем.

Вторая группа веществ объединяет гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси, а также высокомолекулярные вещества. Высокомолекулярные вещества могут быть представлены линейными (гибкими и жесткими), спиральными и разветвленными макромолекулами. В эту группу входят минеральные и органоминеральные частицы почв и грунтов, недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ, придающие воде окраску, а также вирусы и другие организмы, приближающиеся по размерам к коллоидным частицам. Так как среди последних находятся болезнетворные (патогенные) организмы, то удаление их из воды весьма ответственное мероприятие. Частицы коллоидной степени дисперсности содержатся в сточных водах различных производств – нефтехимических, целлюлозобумажных и др.

Характерная особенность примесей второй группы – их способность образовывать с водой сравнительно устойчивые коллоидные системы. При очистке воды от загрязнений такого рода основной задачей является разрушение коллоидной системы, обеспечение быстрой коагуляции дисперсных примесей и отделение их от дисперсионной среды. Коагуляцию коллоидных растворов могут вызывать различные факторы: добавление растворов электролитов, изменение состава и концентрации дисперсной фазы, механические, электрические, световые, температурные и другие воздействия. Несмотря на кажущееся разнообразие перечисленных факторов, их влияние сводится в основном к изменению свойств поверхности дисперсных частиц и условий взаимодействия между ними. Выяснение физической природы сил, действующих между коллоидными частицами, оценка относительной роли различных параметров в обеспечении стабильности коллоидной системы и определение условий ее нарушения - важнейшие вопросы, решение которых необходимо для целенаправленного изменения свойств дисперсных систем.

Наиболее полно изучены природа и механизм коагуляции лиофобных коллоидов*. Современная физическая теория устойчивости лиофобных коллоидных систем, созданная Б.В. Дерягиным и Л.Д. Ландау и независимо от них Фервеем и Овербеком (теория

* Феноменологическое разделение коллоидных растворов на *лиофобные* и *лиофильные* (в случае водной дисперсной среды – соответственно на гидрофобные и гидрофильные) основано на их различной чувствительности к действию посторонних электролитов. Первые коагулируют при самых незначительных добавках электролитов, тогда как коагуляция вторых наступает только при высоком содержании электролитов в растворе (порядка миллимолей на 1 л). Леофильные коллоиды энергично взаимодействуют с дисперсионной средой и в большинстве случаев устойчивы только в присутствии стабилизаторов.

ДФО), основывается на учете сил Ван-дер-ваальсового притяжения между частицами и электростатического отталкивания, возникающих при перекрытии диффузных оболочек двойных электрических слоев сближающихся частиц. Различия в природе частиц могут изменить характер Ван-дер-ваальсового и электростатического взаимодействия их: при достаточной разнородности частиц молекулярные и электрические силы могут поменяться ролями – первые будут приводить к результирующему отталкиванию, а вторые – к притяжению. Иным окажется и влияние добавок электролита – гетерокоагуляция или слипание разнородных частиц будут происходить при разбавлении раствора электролита. Особенности взаимодействия разнородных поверхностей учтены в теории гетерокоагуляции лиофобных коллоидов, развитой Б.В. Дерягиным.

Если в лиофобных коллоидах, представляющих собой ионостабилизированные системы, основную роль играет электрический фактор устойчивости, то в лиофильных коллоидах существенное влияние на стабильность оказывает сольватация частиц. Образование на поверхности частиц развитых сольватных слоев с особой структурой и свойствами служит одной из причин появления расклинивающего давления, препятствующего слипанию частиц. Согласно П.А. Ребиндеру, стабилизирующими свойствами обладают образующиеся на поверхности частиц гелеобразные адсорбционно-сольватные слои, которые благодаря своей упругости и механической прочности препятствуют сближению частиц до расстояний эффективного действия Ван-дер-ваальсовых сил. Близка к представлениям о структурно-механических факторах устойчивости и гипотеза о стерических препятствиях, создаваемых адсорбционными слоями стабилизатора. Все эти точки зрения можно свести к общей идее об определяющей роли сольватационного, в частности гидратационного, фактора устойчивости в системах с лиофильной поверхностью дисперсных частиц.

Следует отметить, что изучение механизма устойчивости и коагуляции коллоидных систем наталкивается на большие трудности как экспериментального, так и теоретического характера. В реальных коллоидных системах может одновременно проявляться действие различных факторов устойчивости, обусловленных совокупностью свойств поверхностных межфазных слоев. Особенно это касается многокомпонентных гетерогенных систем, к которым относятся природные и сточные воды.

Третья группа веществ включает растворенные в воде газы и органические соединения как биологического, так и антропогенного происхождения. К ним относятся разнообразные продукты жизнедеятельности и отмирания плесневых грибов, актиномицетов,

бактерий, водорослей, а также фенолы, спирты, альдегиды и другие органические вещества, обычно попадающие в воду со сточными водами. Они придают воде самые разнообразные привкусы и запахи, а иногда и окраску. Некоторые вносимые со сточными водами примеси обладают токсичностью. Обычно это соединения с ковалентной связью. Ионогенные группы, встречающиеся в них, мало диссоциированы. Вследствие незначительной диссоциации, а иногда и полного ее отсутствия, вещества, относящиеся к третьей группе примесей, образуют с водой растворы незлектролитов.

В водных растворах молекулы растворенных веществ могут взаимодействовать как между собой, так и с молекулами воды. Эти взаимодействия, исключая образование химических соединений, как правило, связаны с проявлением Ван-дер-ваальсовых сил притяжения между незаряженными атомами или молекулами.

Молекулы растворенного вещества могут существенно изменять взаимодействие между молекулами воды. Кроме того, они могут образовывать с водой соединения, существующие лишь в растворе. В таких прочных соединениях в большинстве случаев основную роль играет водородная связь.

Для кислорода, азота и других газов, не вступающих в химическое взаимодействие с водой, действителен закон Генри о пропорциональности между растворимостью газа и его парциальным давлением над раствором. Повышение температуры уменьшает растворимость газов в воде. Рассматривая равновесие между газом и раствором как равновесие между раствором и паром, можно использовать уравнение Клаузиуса–Клапейрона для расчета парциального давления газа над раствором при разных температурах. Растворимость газов в водных растворах электролитов меньше, чем в чистой воде. Установлена эмпирическая зависимость между концентрацией (c) электролита в растворе и растворимостью газов (S):

$$S = S_0 c^{-k'c} ,$$

где S_0 – растворимость газов в воде; k' – константа, зависящая от вида газа, электролита и температуры.

В водном растворе аммиак образует основание – гидроксид аммония. Этот процесс можно рассматривать как комплексобразование с донорно-акцепторной связью. Аналогично при растворении и в воде сероводорода и угольной кислоты образуются кислоты. Возникающие при их диссоциации аквакомплексы оксония H_3O^+ также имеют донорно-акцепторную связь. Во всех случаях наблюдаются отклонения от указанных выше закономерностей, причем они выражены тем больше, чем сильнее взаимодействие газа с водой.

При растворении в воде жидкостей в большинстве случаев

применимо эмпирическое правило «подобное растворяет подобное». Поэтому в таком полярном растворителе, как вода, сравнительно хорошо растворимы низшие представители следующих классов органических веществ с полярными молекулами: спиртов, фенолов, альдегидов и их галогензамещенных, кетонов и их галогензамещенных, алифатических карбоновых и оксикислот, алифатических аминов, аминоспиртов и аминокислот, амидов кислот, сульфокислот, азотистых гетероциклов, например пиридина, хинолина и их гомологов, и др. Некоторые из них присутствуют в природных водах как результат загрязнения воды промышленными сточными водами.

При ограниченной растворимости жидкостей в воде образуется двухфазная система, если превзойден предел растворимости. В этом случае существенна роль третьего компонента (растворенного вещества), что очень важно для экстракционной очистки воды. Исходя из равенства химических потенциалов, в обеих фазах при равновесных условиях можно вывести константу распределения (k):

$$\frac{x'_3}{x''_3} = k = f(T),$$

где x'_3 и x''_3 – концентрация третьего компонента в различных фазах.

В том случае, когда растворы третьего компонента достигают таких концентраций, при которых нельзя пренебрегать взаимным влиянием молекул растворенного вещества, концентрация заменяется активностями. Хорошо применимо также соотношение

$$\frac{(x'_3)^m}{x''_3} = k.$$

В связи с проявлением в реальных растворах сил межмолекулярного взаимодействия к ним применимы законы Вант-Гоффа для осмотического давления и Рауля о понижении упругости пара над раствором (выведенные для идеальных растворов) только при условии учета коэффициентов активности.

Четвертая группа объединяет вещества, образующие с водой растворы электролитов. В соответствии с теорией электролитической диссоциации молекулы веществ с ионной или сильнополярной связью под влиянием полярной структуры молекул воды распадаются на ионы. Работа разрушения кристаллических структур производится главным образом в результате процесса гидратации. Ион-но-дипольное взаимодействие наиболее интенсивно при гидратации катионов. При гидратации анионов со значительным отрицательным зарядом или малым радиусом более специфично присоединение молекул воды за счет водородных связей.

Находящиеся в воде ионы разрушают ее структуру. Как уже упоминалось, согласно Берналу и Фаулеру, каждая молекула воды связана с четырьмя другими молекулами водородной связью (тетраэдрическая конфигурация). Ионы небольшого размера помещаются в пустотах воды и мало изменяют ее структуру. Ионы средних размеров, особенно одновалентных, имеют в разбавленных растворах координационное число, равное четырем. Они, очевидно, замещают молекулы воды в структурных узлах. Однако, притягивая и ориентируя находящиеся поблизости молекулы воды и образуя гидратную оболочку, они несколько искажают структуру воды в ближайшем окружении. При этом наблюдаются изменения ряда физико-химических и технологических свойств – уменьшаются объем, теплоемкость, энтропия и сжимаемость раствора.

Особенно заметное разрушающее действие на структуру воды оказывают ионы больших размеров. В целом влияние ионов на структуру воды может быть представлено как сумма двух явлений: во-первых, происходит образование гидратных оболочек, сопровождающееся уменьшением энтропии; во-вторых, большие ионы при значительных концентрациях разрушающе действуют на структуру воды, что вызывает увеличение энтропии.

Гидратацию катионов можно рассматривать как образование аквакомплексов, прочность которых определяется величинами констант нестойкости. Легкость, с которой ионы металлов образуют гидраты, возрастает с увеличением их заряда и уменьшением радиуса. Гидраты ионов щелочных металлов нестойки, щелочноземельных – более прочны. Например, гидратированный ион кальция, в основном определяющий жесткость природной воды, может быть представлен в виде октаэдра $[Ca(H_2O)_6]^{2+}$, в центре которого находится ион кальция, электростатически связанный с шестью молекулами воды, расположенными в его вершинах. Особыми свойствами обладает ион водорода: протон образует прочный аквакомплекс с донорно-акцепторной связью – ион гидроксония H_3O^+ . В водных растворах к этому иону присоединяется еще три молекулы воды, менее прочно связанные с протоном, и образуется комплекс $H_9O_4^+$. Другие ионы также способны ориентировать вокруг себя дополнительные молекулы воды, давая аквакомплексы, например $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ и $[Al(H_2O)_{12}]^{3+}$.

Аквакомплексы могут переходить в гидроксокомплексы с отщеплением протонов от координированных молекул воды:



Подобным образом происходит гидролиз ионов алюминия, железа и других металлов, дающих слабые основания.

При помощи меченых атомов установлено, что продолжительность нахождения молекул воды в гидратных оболочках ионов невелика, но по сравнению с продолжительностью пребывания их на одном месте в жидкой воде она очень большая. Гидратированные ионы при химических реакциях, тепловом движении в растворе и движении под действием внешнего электрического поля ведут себя как отдельные частицы.

Количественными характеристиками равновесного состояния примесей, относящихся к четвертой группе, в растворе являются степень их диссоциации и константа диссоциации. Обычно электролиты, диссоциирующие в 0,1н. растворах на 30% и более, называют *сильными*, а электролиты, степень диссоциации которых не превышает 3% – *слабыми*. В случае сильных электролитов (к ним могут быть отнесены все растворенные в природной воде соли) в связи с отклонениями свойств их растворов от идеальных, для которых создана классическая теория электролитической диссоциации, при вычислении констант диссоциации необходимо использовать активности или умножать аналитически определяемые концентрации ионов на соответствующие коэффициенты активности.

При малых концентрациях электролитов ($m \leq 0,02$ моль/дм³, что близко к солевому составу пресных вод) средний ионный коэффициент активности диссоциирующего вещества f является функцией ионной силы раствора I (Льюис и Рендалл). С помощью этой величины суммарно оценивается влияние силовых полей ионов на различные свойства разбавленных растворов.

По Дебаю и Гюккелю, для водных растворов электролитов, ионная сила которых не превышает 0,01, при комнатной температуре (25°С) справедлива формула

$$\lg f = -0,5 Z^+ Z^- \sqrt{I},$$

где Z^+ , Z^- – валентности катиона и аниона соответственно.

Применимость электростатической теории сильных электролитов Дебая–Гюккеля ограничивается областью разбавленных растворов в силу ряда допущений, сделанных при ее разработке (отождествление ионов с точечными зарядами, учет только электростатических сил взаимодействия, идентификация диэлектрической проницаемости тонкой прослойки растворителя между взаимодействующими ионами с диэлектрической проницаемостью раствора и др.).

Исходя из вышеизложенного, основные принципы научного подхода к технологии водоподготовки согласно рассмотренной классификации могут быть сформулированы следующим образом:

– фазово-дисперсное состояние примесей воды предопределяет наиболее эффективные и рациональные методы их удаления;

– при сложившейся технологической схеме водоочистки наиболее эффективный и рациональный режим работы очистных сооружений может быть обеспечен, если имеющиеся в воде примеси перенести в фазово-дисперсное состояние, соответствующее использованным в них методам водоочистки.

1.4. ТРЕБОВАНИЯ К РЕСУРСАМ ГИДРОСФЕРЫ

Качество очищенных природных вод оценивается органолептическими свойствами, микробиологическими, токсикологическими и органолептическими показателями.

К *органолептическим свойствам воды* относятся мутность, прозрачность, цветность, запах, вкус, температура и электропроводность.

Органолептическими показателями качества воды являются общее количество растворенных веществ, или сухой остаток, прокаленный остаток, активная реакция, или pH воды, окисляемость, щелочность, содержание газов, наличие азотных соединений, хлоридов, сульфатов, железа, марганца, кальция, магния, некоторых ядовитых, радиоактивных и других веществ.

Бактериологические, или санитарные, показатели характеризуют общую бактериальную загрязненность воды, также содержание в ней вирусов и бактерий кишечной палочки (бактерий *Coli*).

Микробиологические показатели определяются наличием водных организмов, находящихся на поверхности (*нейстон*), во взвешенном состоянии в толще воды (*планктон*) или расположенных у дна водоема, берегов и на поверхности подводных предметов (*бентос*).

Требования к качеству природных вод могут быть самыми различными и зависят от их целевого назначения.

Различают воду, используемую для: 1) хозяйственно-питьевых целей, а также в отдельных отраслях пищевой и бродильной промышленности; 2) сельскохозяйственных целей – для орошения, в животноводстве; 3) охлаждения; 4) паро-силового хозяйства; 5) технологических целей в промышленности; 6) заводнения нефтяных пластов.

Хозяйственно-питьевая вода

Технические и гигиенические требования и нормы качества воды, подаваемой централизованными водопроводами для хозяйственно-питьевых целей, установлены СанПиН 10-124 РБ 99 «2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Качество

питьевой воды, подаваемой системой водоснабжения, должно соответствовать требованиям настоящих Санитарных правил:

✓ питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства;

✓ безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям.

Оптимальная температура воды для питьевых целей 7-11°C. Наиболее близки к этим условиям воды подземных источников. Их в первую очередь рекомендуется использовать для хозяйственно-питьевых целей.

Водородный показатель pH большинства природных вод близок к 7. Постоянство pH воды имеет большое значение для нормального протекания в ней физико-химических и биологических процессов, приводящих к самоочищению. Для воды хозяйственно-питьевого назначения в соответствии с СанПиНом 10-124 РБ 99 он должен находиться в пределах 6,0-9,0.

Кроме указанных в СанПиНе 10-124 РБ 99 допустимых концентраций токсичных химических веществ для источников централизованного водоснабжения предельно допустимые концентрации химических веществ, попадающих в водоисточники с бытовыми, промышленными и сельскохозяйственными загрязнениями при отсутствии официальных норм устанавливаются органами санитарно-эпидемиологической службы в каждом отдельном случае.

При попадании в источники водоснабжения токсичных химических веществ органы Государственного санитарного надзора контролируют содержание этих веществ в воде и проводят мероприятия по устранению их поступления в водоемы. Если устранить загрязнение водоема токсичными веществами невозможно, а другие водные объекты для забора воды отсутствуют, предусматриваются надежные методы очистки воды.

Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) издаются Международные и Европейские стандарты на питьевую воду, в которых приводятся требования к качеству воды по химическим и бактериологическим показателям.

В Международных стандартах на питьевую воду изложены минимальные нормы, которые в настоящее время могут быть достигнуты во всех странах мира. В Европейских стандартах установлены более жесткие требования к качеству воды и по большему числу показателей.

К воде, используемой в пищевой и бродильной промышленно-

сти, предъявляются такие же требования, как и к питьевой.

На некоторых производствах к воде предъявляются специфические требования. Так, вода, идущая на винокуренное производство, не должна содержать хлоридов кальция и магния, влияющих на жизнедеятельность дрожжей. Вода, применяемая для пивоварения, не должна содержать гипса, препятствующего брожению солода; вода, используемая в производстве сахара, должна обладать низкой степенью минерализации, поскольку повышенная концентрация солей затрудняет варку и кристаллизацию сахара. В ней также не допускается наличие гниющих веществ, вызывающих брожение в диффузорах. В воде, используемой в крахмальном производстве, должны отсутствовать железо и другие вещества, вызывающие окрашивание крахмала.

Вода, используемая в сельском хозяйстве

Необходимо, чтобы вода, предназначенная для поения животных и птицы, в основном отвечала требованиям, предъявляемым к воде для хозяйственно-питьевых целей. Однако по таким показателям, как цветность, прозрачность и запах, требования могут быть несколько снижены. Температура воды по возможности должна находиться в пределах 8-15° С. Допустимая степень минерализации воды определяется ее вкусовыми качествами.

Предельная степень минерализации воды, используемой в ирригационных системах для орошения, не должна превышать 1,5 г/дм³. Превышение допустимых концентраций солей может привести к засолению почв, снижению или даже гибели урожая.

Установленных норм качества воды для орошения не существует; допустимая степень минерализации может меняться в широких пределах в зависимости от условий полива, дренажа, метеорологических и агротехнических факторов. Вода со степенью минерализации до 1 г/дм³ пригодна для орошения во всех случаях. При плохих условиях дренажа и плохо фильтрующих грунтах содержание солей не должно превышать приведенной выше нормы.

Хлорид натрия, сульфаты натрия и магния и особенно карбонат натрия засоляют почвы и делают их непригодными для агротехнических целей. Вода, содержащая сульфат кальция и карбонат магния в умеренном количестве, может быть использована для орошения.

Вода для охлаждения

Вода, широко используемая для охлаждения действующих агрегатов, химической аппаратуры, доменных и мартеновских печей, пара, жидких и газообразных продуктов в холодильниках, не должна давать отложений, вызывать биологические обрастания и коррозию

поверхностей. Причинами отложений являются нестабильность состава природной воды, наличие в ней неорганической взвеси (песка, ила, глины), увеличивающей толщину накипи; органических соединений, вызывающих биологическое обрастание поверхностей бактериями, грибами, водорослями и другими организмами; минеральных веществ, образующих накипь. В такой воде должно содержаться не более 0,1 мг/дм³ железа и не более 2-7 мг-экв/дм³ карбонатов.

Поскольку специальных норм, регламентирующих качество охлаждающей воды, нет, то требования к ней устанавливаются в каждом конкретном случае с учетом соотношения температур воды и охлаждаемых поверхностей, величины карбонатной жесткости, содержания железа, свободной угольной кислоты, взвешенных веществ, микроорганизмов, системы водоснабжения (прямоточная или обратная) и т. д. Однако во всех случаях она должна иметь возможно более низкую температуру и не создавать благоприятных условий для развития биологических обрастаний.

Вода для паросилового хозяйства

Нормы качества питательной воды зависят от типа современных котлов и давления.

В воде не должны содержаться взвешенные вещества, соли, обуславливающие жесткость, растворенный кислород. Наличие этих веществ в ней вызывает отложение накипи, вспенивание котловой воды, унос солей с паром и коррозию металла.

Вода для технологических целей промышленности

Различают воду:

а) используемую при добыче, отмывке, гидротранспортировке, сортировке и обогащении полезных ископаемых и другого сырья (такая вода не должна содержать грубодисперсных взвешенных частиц);

б) соприкасающуюся с продукцией;

в) входящую в состав продукта.

В случаях б) и в) требования к воде специфичны и диктуются не только отдельными видами производства, но и принятой технологической схемой. В некоторых случаях эти требования более высокие, чем предъявляемые к хозяйственно-питьевой воде. Так, в воде, применяемой в фотографии, не допускается наличие железа, марганца, кремниевой кислоты, больших количеств хлоридов, органических веществ и т. д. Вода, используемая в хлопчатобумажной промышленности для отбеливания и крашения тканей, должна иметь малую окисляемость, прозрачность 30 см по шрифту, цветность – не более 10-15 град., рН=7-8,5, содержание солей железа не более 0,1 мг/дм³. Жесткость воды для приготовления растворов мы-

ла, красителей, кислот и щелочей не должна превышать 0,18-0,35 мг-экв/дм³. Вода, применяемая в шелковой промышленности, должна иметь прозрачность не ниже 30 см по шрифту, цветность – не более 10 град., рН=7-8,1, содержать только следы солей железа, иметь жесткость не выше 0,18 мг-экв/дм³, а вода, применяемая в производстве искусственного волокна, – прозрачность не менее 40 см по шрифту, жесткость не выше 0,07 мг-экв/дм³, содержать солей железа не более 0,1-0,2 мг/дм³.

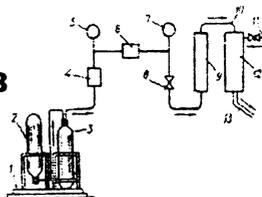
Вода для заводнения нефтяных пластов

Закачиваемая вода должна быть совместима с пластовой водой и не вызывать осложнений при эксплуатации систем сбора и подготовки нефти. Согласно требованиям строительных норм в воде может содержаться до 2 мг/дм³ механических примесей, до 0,5 мг/дм³ железа; в ней не должно быть нефтепродуктов. Требования к солям по жесткости и содержанию кислорода нормами не устанавливаются.

Опыт эксплуатации систем заводнения показывает, что к нормированию качества воды следует подходить дифференцированно, в зависимости от местных условий и коллекторских свойств пласта. Наличие в воде примесей выше допустимых норм может привести к закупорке пор фильтрующей поверхности скважины и уменьшению пористости продуктивного пласта вследствие образования в нем нерастворимых соединений.

Глава 2.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕСУРСОВ ГИДРОСФЕРЫ



2.1. ТЕХНОЛОГИЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕСУРСОВ ГИДРОСФЕРЫ

Совокупность методов, применяемых для улучшения качества воды, представляет собой *процесс водоподготовки*.

Основными процессами улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых целей являются осветление, обесцвечивание, обезжелезивание, фторирование, обесфторивание и обеззараживание.

При подготовке воды для нужд промышленного производства в зависимости от ее целевого назначения к перечисленным выше процессам может добавляться дегазация, деманганация, умягчение, опреснение или обессоливание, обескремнивание, стабилизация и т. д.

Методом водоподготовки называется способ устранения загрязнений из природной воды или придания ей новых свойств в соответствии с целевым назначением.

Один технологический процесс может включать несколько методов водоподготовки. Например, процесс осветления воды может осуществляться *реагентными методами* (коагулированием, флокулированием, окислением) и *безреагентными* (микропроцеживанием, фильтрованием); процесс обеззараживания – методами хлорирования, озонирования, ультрафиолетового облучения и т. д.

Главным критерием, определяющим выбор метода водоподготовки, является несоответствие качества воды водного объекта требованиям потребителя.

В соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.02-84, метод обработки воды, состав и расчетные параметры очистных сооружений и расчетные дозы реагентов надлежит устанавливать в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, ее назначения, производительности станции и местных условий, а также на основании данных технологических исследований и эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

Для обоснования метода водоподготовки необходимо распо-

лагать полным анализом воды водного объекта и данными технологических изысканий воды (коагулируемость, обесцвечиваемость, осаждаемость, фильтруемость и др.). Учитывается также опыт эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

Освобождение воды от загрязнений производится на очистных сооружениях. Предварительный выбор основных технологических сооружений водоочистных комплексов при реагентной и безреагентной водоподготовке может быть произведен на основании рекомендаций СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (табл.2.1).

Таблица 2.1. Примерный состав основных технологических сооружений станции осветления и обесцвечивания воды

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность воды, мг/дм ³		Цветность воды, град		
	исходной	очищенной	исходной	очищенной	
1	2	3	4	5	6
Обработка воды без применения реагентов					
Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	до 150	30-50% исходной	до 120	до 120	любая
Радиальные отстойники для частичного осветления воды	свыше 1 500	30-50% исходной	до 120	до 120	любая
Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией песка	до 1 500	1,5	до 50	до 20	любая
Обработка воды с применением реагентов					
Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование): напорные открытые	до 30 до 20	до 1,5 до 1,5	до 50 до 150	до 20 до 20	до 5 000 до 50 000
Вертикальные отстойники – скорые фильтры	до 1 500	до 1,5	до 120	до 20	до 5 000
Горизонтальные отстойники – скорые фильтры	до 300	до 1,5	до 120	до 20	свыше 30 000
Контактные префильтры – скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование)	до 300	до 1,5	до 120	до 20	любая
Осветлители со взвешенным осадком – скорые фильтры	50-1 500	до 1,5	до 120	до 20	свыше 5 000

продолжение табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6
Две ступени отстойников – скорые фильтры	до 1 500	до 1,5	до 120	до 20	любая
Контактные осветители	до 120	до 1,5	до 120	до 20	любая
Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	до 80	до 10	до 120	до 30	любая
Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	до 1 500	до 250	до 120	до 20	любая
Трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления (типа «Струя»)	до 1000	до 1,5	до 120	до 20	до 800

В разъяснениях к рекомендациям отмечается, что на станции водоподготовки с применением коагулянта или на водозаборных сооружениях необходимо предусматривать установку сеток с ячейками размером 0,5-2 мм. При среднемесечном содержании в воде планктона более 1000 кл/мл и продолжительности «цветения» более 1 месяца в году в дополнение к сеткам на водозаборе следует предусматривать установку микрофильтров на водозаборе или на станции водоподготовки. Допускается, при обосновании, для очистки воды от примесей применять плавучие водозаборы – осветлители, гидроциклоны, флотационные установки и др. сооружения, не указанные в табл. 2.1. Осветлители со слоем взвешенной контактной среды следует применять при равномерной подаче воды на сооружения или постепенном изменении расхода воды в пределах $\pm 15\%$ в течение 1ч и колебания температуры воды не более $\pm 1^\circ\text{C}$ в течение 1ч.

Приведенные в СНиП данные по производительности станции, перечень основных сооружений и условия их применения являются примерными. Они могут изменяться и дополняться при детальной разработке проекта, а также в зависимости от качества воды в источнике и особых требований к очищенной воде потребителей. В этих случаях возможно включение в комплекс сооружений устройств для специальной обработки воды.

В соответствии с указаниями СанПиН 10-124 РБ 99 и рекомендациями СНиП 2.04.02-84 для подготовки воды питьевого качества могут быть приняты только те методы, по которым получены положительные гигиенические заключения.

2.2. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕСУРСОВ ГИДРОСФЕРЫ

Эффективность работы водоочистного комплекса во многом зависит от правильного выбора методов водоподготовки и состава очистных сооружений.

Плодотворной теоретической основой технологии водоподготовки, позволяющей с единых позиций оценивать технологические процессы очистки воды в соответствии с современными требованиями к ее качеству, является классификация примесей воды Л.А. Кульского (табл. 1.10).

Технологические схемы предусматривают компоновку очистных сооружений, охватывающих процессы удаления веществ, относящихся обычно к нескольким группам данной классификации. Поэтому при составлении схемы водоподготовки следует выбирать методы и режимы, наиболее эффективные для удаления примесей каждой из групп. Желательна предварительная лабораторная проверка и сравнительная технико-экономическая оценка нескольких вариантов.

Для удаления из воды гетерофазных примесей I группы рекомендуются следующие процессы: механическое разделение в гравитационном поле или под действием центробежных сил, а также фильтрование через пористые загрузки и мелкие сетки; адгезия на высокодисперсных и зернистых материалах, а также гидроксидах алюминия или железа и глинистых минералах; агрегация флокулянтами; флотация примесей и др.; для патогенных микроорганизмов – бактерицидное воздействие.

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

Для устранения микрогетерофазных примесей II группы более эффективны процессы окисления органических коллоидных веществ и высокомолекулярных соединений, адгезия и адсорбция их на гидроксидах алюминия и железа, агрегация флокулянтами катионного типа и др.; для вирусов – вирулицидное воздействие.

Как в случае примесей I группы, комплекс очистных сооружений, необходимых для осуществления этих процессов, состоит из типовых элементов, используемых в двух- или одноступенчатой схемах очистки воды.

Для удаления молекулярно растворенных веществ, входящих

в III группу, применяют следующие процессы: десорбцию летучих соединений; окисление органических веществ; адсорбцию на активированном угле и других сорбентах; экстракцию органическими растворителями; отгонку паром – эвапорацию и др. Методы удаления таких примесей специфичны и поэтому здесь используется аппаратура специального назначения.

Для удаления электролитов IV группы лучше использовать ионные процессы: перевод в малодиссоциированные (нейтрализация, комплексообразование) или малорастворимые соединения; фиксация на твердой фазе ионитов (H–Na-катионирование, OH–анионирование); 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. Установки, предназначенные для осуществления этих процессов, могут дополнять основные очистные сооружения.

Иногда молекулярные и ионные примеси можно удалять параллельно с выделением гетерофазных загрязнений в типичной для них аппаратуре.

2.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Технологическая схема – это совокупность процессов и методов водоподготовки с определенным составом очистных сооружений.

Применяемые в практике водоподготовки технологические схемы классифицируются по следующим основным признакам: на реагентные и безреагентные; по эффекту осветления обрабатываемой воды; по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них; на безнапорные и напорные.

Реагентные и безреагентные технологические схемы применяются при подготовке воды для хозяйственно-питьевых и производственных нужд. Эти схемы различаются размерами, числом и видом входящих в них очистных сооружений, условиями и параметрами их эксплуатации, производительностью и т.д. Схема реагентной и безреагентной водоподготовки приведена на рис. 2.1, а, б.

Технологический процесс очистки воды в реагентных схемах протекает интенсивнее и за более короткое время. Например, от основной массы взвешенных веществ в реагентной схеме можно освободиться за 2-4 ч, в безреагентной – за несколько суток; фильтрование воды в первых схемах, как правило, скорое или сверхскорое со скоростью 5-25 м/ч и более, во вторых – медленное со скоро-

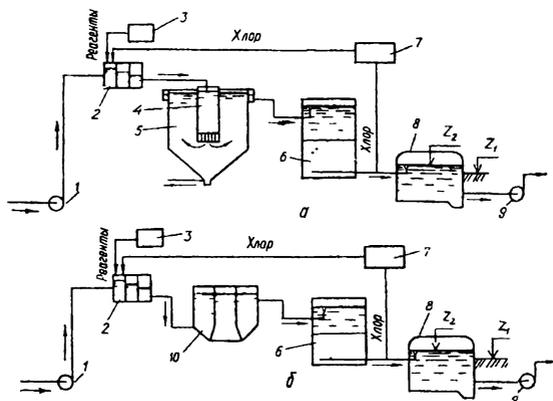


Рис. 2.1. Высотные схемы технологических сооружений водоочистных станций:
 а – с вертикальными отстойниками и скорыми фильтрами;
 б – с осветлителями и фильтрами.

стью 0,1-0,3 м/ч.

Объем сооружений реагентных станций водоподготовки меньше, они компактнее и дешевле в строительстве, однако эксплуатация их по сравнению с безреагентными схемами сложнее. Реагентные схемы водоподготовки применяются при любой цветности исходной воды и производительности станции водоподготовки, в безреагентных схемах цветность ограничивается до 50 град., производительность небольшая. Осветление воды в последних неглубокое, и используются они в большинстве случаев для подготовки воды промышленными предприятиями. В реагентных схемах применяются сооружения с использованием процесса контактной коагуляции (контактные фильтры, контактные осветлители, осветлители со слоем взвешенной контактной среды и др.), тонкослойного отстаивания (спиральные, тонкослойные, многоярусные отстойники), в безреагентных – чаще отстойники, медленные, акустические, намывные фильтры, гидроциклоны.

По эффекту осветления обрабатываемой воды технологические схемы разделяются для полного или глубокого осветления воды и для неполного или грубого осветления.

Первые схемы применяются для подготовки хозяйственно-питьевой воды, мутность которой не должна превышать $1,5 \text{ мг/дм}^3$, и для многих технологических целей производства; вторые – для производственных водопроводов, когда остаточная мутность допускается до $50-100 \text{ мг/дм}^3$. Это технологическая вода для охлаждения оборудования, для приготовления растворов в строительстве и т.д.

По числу технологических процессов и числу ступеней каж-

дого из них технологические схемы могут быть одно-, двух- и многопроцессные; одно-, двух- и многоступенчатые.

Примером однопроцессной технологической схемы может быть схема, в состав которой входят медленные фильтры или микрофильтры с контактными осветлителями. Процесс в схеме один – фильтрование воды пропусканием через медленные или микрофильтры и контактные осветлители.

При повышенном содержании в исходной воде взвешенных веществ, присутствии сине-зеленых или других видов водорослей, наличии запахов и привкусов и т.д. возникает необходимость в увеличении числа ступеней одного и того же технологического процесса. Так, например, в многопроцессной технологической схеме процесс фильтрования ведется в три ступени: на микрофильтрах, скорых и угольных фильтрах. На первых сооружениях вода освобождается от грубых взвешенных веществ и водорослей, на вторых – осветляется, на третьих – очищается от запахов и привкусов.

Многоступенчатые технологические схемы часто используются при подготовке воды для промышленных целей.

Безнапорные (самотечные) и напорные технологические схемы различаются характером движения воды. На станциях водоподготовки коммунального хозяйства и крупных промышленных водоочистных комплексах движение исходной воды по сооружениям осуществляется самотеком. Это обеспечивается максимальным приспособлением сооружений к рельефу местности, чтобы уровень воды в каждом последующем сооружении находился ниже уровня в предыдущем. Разность уровней определяет напор, требуемый для преодоления гидравлических сопротивлений внутри сооружения и в коммуникациях от одного сооружения к другому. В этом случае первостепенное значение имеет увязка взаимного расположения отдельных очистных сооружений технологической схемы, т.е. построение высотной схемы. При безнапорном движении воды по очистным сооружениям устраиваются резервуары чистой воды и две насосные станции: первого и второго подъемов.

В напорных технологических схемах движение обрабатываемой воды от сооружения к сооружению создается давлением насосов насосной станции. Поэтому сооружения должны быть герметичными и располагать их можно на одной отметке. При использовании напорных технологических схем резервуары чистой воды и насосную станцию второго подъема обычно не устраивают. Очищенная вода под напором насосов насосной станции первого подъема подается непосредственно в сеть потребителям.

В последние десятилетия для подготовки питьевой воды наряду с традиционными технологическими схемами осветления и обес-

цвечивания воды с отстойниками, осветлителями со слоем взвешенной контактной среды, скорыми и медленными фильтрами, контактными осветлителями разработаны новые очистные сооружения и на их основе созданы более совершенные технологические схемы. Это схемы с электрокоагуляторами, акустическими и микрофильтрами, тонкослойными отстойниками, гидроциклонами, контактными осветлителями КО-3, контактными фильтрами КФ-5 и др.

2.4. КРИТЕРИИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Для выбора состава очистных сооружений и разработки технологических схем улучшения качества воды требуются многие данные. Прежде всего, устанавливается целевое назначение воды, т. е. требования потребителя к ее физическим, химическим и бактериологическим показателям; учитывается качество воды самого источника водоснабжения в разные времена года, степень и возможность загрязнения его бытовыми и промышленными сточными водами и др.

Ответственным и сложным этапом является правильная оценка источника водоснабжения. Важно не только определить примеси воды, обуславливающие ее привкусы, запахи, цветность, мутность, жесткость и т. д., но и изучить химические и биологические процессы, протекающие в водоеме и влияющие на стабильность состава воды. Поэтому оценка водоема, как правило, складывается в результате длительного наблюдения за составом примесей воды, за изменением во времени каждого отдельного компонента. Только при таком изучении можно правильно расшифровать данные анализа воды.

Кроме специфических особенностей очистки воды, определяемых требованиями потребителя и устанавливаемых в каждом отдельном случае, существуют и некоторые общие положения, которыми можно руководствоваться при выборе схем очистки воды, подборе элементов очистных сооружений и их компоновке. При подготовке питьевой воды в случае, если забор ее производится из открытых водоемов, воду обычно осветляют, обесцвечивают и обеззараживают. Если же источники водоснабжения – подземные напорные и безнапорные воды или вода чистых озер и прудов, ее обработка ограничивается только обеззараживанием.

Конструктивное оформление принятой схемы определяется производительностью и составом проектируемых сооружений, рельефом и гидрогеологией площадки, климатическими данными и возможностью создания зон санитарной охраны, а также технико-

экономическими расчетами.

При проектировании очистных сооружений комплекс и типы основного и вспомогательного оборудования определяются принятым методом обработки воды. Объемы отдельных сооружений рассчитывают по времени, необходимому для протекания тех или иных физико-химических процессов в воде, поступающей на обработку. При непрерывной работе этих сооружений расчет их обязательно предполагает нахождение времени пребывания воды в различных элементах схемы при скорости потока, соответствующей нормальному течению процесса очистки.

Реагенты в воду подают таким образом, чтобы обработка ее заканчивалась в проектируемом комплексе оборудования и выходящая вода соответствовала требованиям потребителя и чтобы в дальнейшем вода не изменяла своего состава и свойств. Для этого реагенты следует вводить в начале очистных сооружений и специальными устройствами обеспечивать быстрое и полное смешение отдозированных реагентов со всей массой очищаемой воды. Исключение составляют методы обработки воды, предназначенные для устранения воздействия разветвленной сети трубопроводов на качество воды (повторное бактериальное загрязнение, коррозия и т. д.), а также для ее обогащения микроэлементами (фторирование). В этом случае реагенты, не содержащие взвешенных веществ и не образующие их при взаимодействии с солями, содержащимися в воде, разрешается вводить в очищенную воду.

При использовании для очистки воды нескольких методов обработки размещение соответствующего оборудования для дополнительных процессов не должно влиять на основную технологическую схему сооружений.

Некоторые изменения вносят в технологическую схему осветления и обеззараживания воды в случае использования повышенных доз хлора для устранения стойких неприятных привкусов и запахов, уничтожения планктона и пр. Такая видоизмененная схема обработки воды предусматривает двухкратное хлорирование воды, а иногда и дехлорирование ее. В этом случае первичное хлорирование производится в водоприемном колодце или на насосной станции первого подъема. После осветления в конце отстойника или за фильтрами осуществляется вторичное хлорирование.

Избыток хлора удаляют адсорбционными фильтрами, заполненными гранулированным активированным углем. Если воду дехлорируют оксидом серы (IV) или другими химическими реагентами, угольные фильтры не нужны. Места ввода обеззараживающего реагента (обычно хлора) меняют в зависимости от качества исходной воды. При наличии в необработанной воде солей железа (II) и мар-

ганца (II) необходимо проводить двухкратное хлорирование (до отстаивания и после фильтрования).

При проектировании самотечных очистных сооружений для удешевления строительства необходимо максимально использовать рельеф местности. Для этого составляют высотную схему сооружений, на которой устанавливают положение (отметку) уровней воды в каждом сооружении в соответствии с избранной технологической схемой. Составление высотной схемы начинают с наиболее низко расположенного сооружения – резервуара чистой воды (РЧВ).

Отметку наивысшего уровня воды в нем принимают исходя из строительных и санитарных соображений с учетом рельефа местности (обычно на 0,15-0,50 м выше отметки земли). Затем, задавая, потери напора в трубопроводах, фасонных частях и соединительных каналах, находят необходимые отметки уровней воды в отдельных сооружениях. При этом для предварительного высотного расположения сооружений потери напора в них, соединительных коммуникациях и измерительной аппаратуре могут быть приняты такими, м:

на сетчатых барабанных фильтрах (барабанных сетках и микрофильтрах)	0,4-0,6
во входных (контактных) камерах	0,3-0,5
в устройствах ввода реагентов	0,1-0,3
в гидравлических смесителях	0,5-0,6
в механических смесителях	0,1-0,2
в гидравлических камерах хлопьеобразования	0,4-0,5
в механических камерах хлопьеобразования	0,1-0,2
в отстойниках	0,7-0,8
в осветлителях со слоем взвешенной контактной среды	0,7-0,8
на скорых фильтрах	3-3,5
в контактных осветлителях и префильтрах	2-2,5
на медленных фильтрах	2-5,5
от сетчатых барабанных фильтров или входных камер к смесителям	0,2
от смесителей к отстойникам, осветлителям со слоем взвешенной контактной среды и контактными осветлителям	0,3-0,4
от отстойников, осветлителей со слоем взвешенной контактной среды или префильтров к фильтрам	0,5-0,6
от фильтров или контактных осветлителей к резервуарам фильтрованной воды	0,5-1
в измерительной аппаратуре на входе и выходе со станции	до 0,5
в индикаторах расхода на отстойниках, осветлителях со слоем взвешенной контактной среды, фильтрах и контактных осветлителях	до 0,2-0,3

Найденные отметки уровня воды в каждом отдельном элементе очистных сооружений и принимают как заданные в последующих расчетах.

В напорных системах, используемых для обработки небольших количеств воды, взаимное высотное расположение отдельных сооружений не играет особой роли. Потери напора в таких установках состоят из суммы потерь напора в отдельных сооружениях и соединяющих их трубопроводах, а также из дополнительной потери напора на фильтрах при полном их загрязнении.

Компоновка очистных сооружений должна обеспечивать возможность дальнейшего их расширения, что особенно важно для крупных городских и промышленных водопроводов, а также устройство обводной линии, позволяющей отключить весь комплекс очистных сооружений и при необходимости подавать воду через резервуар чистой воды во всасывающие линии насосной станции второго подъема.

Если производительность станций превышает 100 000 м³/сут, обводные коммуникации можно не предусматривать.

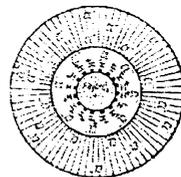
Очистные сооружения следует проектировать согласно инструкции по составлению проектов и смет по промышленному и жилищно-гражданскому строительству.

Полный объем воды, поступающей на водоочистную станцию, определяется с учетом расхода воды на собственные нужды (промывка фильтров, очистка отстойников, камер хлопьеобразования, продувка осветлителей и др.).

Расходы воды для хозяйственно-питьевых нужд на промышленных предприятиях должны определяться в соответствии с рекомендациями СНиП.

Глава 3.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА РЕСУРСОВ ГИДРОСФЕРЫ КООГУЛИРОВАНИЕМ



3.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА КООГУЛИРОВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

3.1.1. Физико-химические условия формирования коллоидной частички и мицеллы

Коагуляцией называется процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частичек дисперсной системы, вызванный нарушением их устойчивого состояния. В процессе коагуляции коллоидные частички слипаются, объединяются в агрегаты и увеличиваются до таких размеров, что теряют коллоидные свойства и выпадают в виде осадка.

Диспергированные, коллоидные и взвешенные частички примесей природных вод в большинстве случаев имеют одинаковые заряды, что обуславливает возникновение межмолекулярных сил отталкивания и агрегативную устойчивость. Поскольку в водоподготовке предусматривается частичное или полное удаление примесей, агрегативную устойчивость частичек стремятся нарушить, а заряд их устранить или снизить до очень малых значений. Этого достигают добавлением к воде сульфатов алюминия, железа (II) и железа (III), хлорида алюминия, хлорида железа (III), алюмината натрия, оксихлорида алюминия и других веществ, которые, являясь коагулянтами, либо нарушают агрегативную устойчивость системы, либо образуют вследствие гидролиза коллоиды, сорбирующие примеси из воды. Коллоидные примеси, находящиеся в природной воде и образующиеся при введении в нее коагулянтов, позволяют рассматривать ее как гетерофазную систему, в которой вода является *дисперсионной средой*, а масса распределенных в воде коллоидных частичек – *дисперсной фазой*. Эти частички представляют собой очень мелкие агрегаты кристаллического или аморфного строения. Благодаря огромной удельной поверхности коллоидных частичек они обладают весьма значительной поверхностной энергией, а,

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.

Возникновению коллоидных частичек предшествует образование твердой фазы (ядра), адсорбирующей из растворов *потенциалобразующие ионы*. Сильнее адсорбируются ионы, которые больше понижают свободную энергию поверхности твердой фазы. В результате поглощения ионов поверхность ядра приобретает заряд. Находящиеся в растворе разноименно заряженные ионы (противоионы) собираются у поверхности ядра вследствие электрического притяжения между разноименными электрическими зарядами, образуя коллоидную частичку. Если бы в растворе не было теплового движения, приводящего к перемещению ионов, противоионы образовали бы мономолекулярный слой (рис. 3.1, а), охватывающий коллоидную частичку на расстоянии ионного радиуса. *Термодинамический потенциал* у такого двойного слоя является потенциалом между твердой фазой и жидкостью. В действительности упорядоченное строение оболочки нарушается в результате теплового движения ионов в растворе, а слой окружающих частичку противоионов приобретает диффузный характер и движется вместе с ней в виде тонкой пленки. На рис. 3.1, б линия *ОО* представляет поверхность коллоидной частички, непосредственно возле которой расположены положительные ионы двойного слоя, а далее ионы

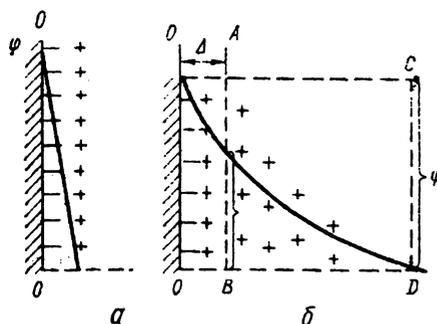


Рис. 3.1. Изменение потенциала и распределение заряда в двойном (а) и диффузном (б) слоях:

ОО – поверхность ядра; АВ – граница двойного слоя; Δ – толщина двойного слоя; CD – граница диффузного слоя.

диффузного слоя, ограниченные на рисунке линией *CD*, являющейся границей электронейтрального комплекса мицеллы. При движении коллоидная частичка в электрическом поле увлекает часть раствора, ограниченную на рисунке линией *AB*, а часть ионов в растворе диффузного слоя, расположенных между линиями *AB* и *CD*, отрывается от частички. При этом она становится отрицательно заряженной, а окружающий ее раствор приобретает положительный заряд. Скачок потенциала, возникающий при этом между частью жидкости, увлекаемой коллоидной частичкой, и остальным раствором, называется *электростатическим, или ξ-потенциалом*.

ξ -потенциал 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 (рис.3.1, б, линия АВ). Когда диффузный слой сожмется до размера, ограниченного линией АВ, ξ -потенциал станет равным нулю. 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 устранения причины, препятствовавшие их сближению, коллоидные частички, соединяясь, образуют сравнительно крупные агрегаты, которые начинают осаждаться.

При добавлении электролита к коагулируемому коллоиду можно заметить, что коагуляция начинается не в изоэлектрической точке, а при значении потенциала $\sim 0,03$ В (значение ξ -потенциала для большинства коллоидов обычно составляет 0,07 В). Это значение ξ -потенциала является мерой устойчивости коллоидных систем и называется *критическим*; с его уменьшением устойчивость коллоидной системы снижается.

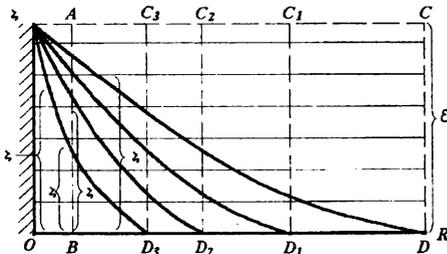


Рис. 3.2. Влияние электролита на электролитический потенциал:

AB - граница адсорбционного слоя; CD и C_3D_3 – граница диффузионного слоя, при наиболее низкой и наиболее высокой концентрации электролита; ξ и ϵ – электрокинетический и термодинамический потенциалы.

Изменение значения ξ -потенциала при сжатии диффузного слоя показано на рис. 3.2 (по оси абсцисс отложены расстояния от поверхности частички, по оси ординат – значения ξ -потенциалов). Степень влияния ионов зависит от их концентрации, валентности и размеров: чем выше концен-

трация ионов и их валентность, тем больше сжатие диффузного слоя, а, следовательно, тем сильнее эти ионы снижают устойчивость коллоидных частичек. Связь между валентностью прибавляе-

мых ионов и их коагулирующей способностью может быть проиллюстрирована такими данными: коагуляция положительно заряженного золя Fe_2O_3 вызывается добавлением 11,8 ммоль/дм³ одновалентных анионов или 0,21 ммоль/дм³ двухвалентных; а золь Al_2O_3 – 52,0 ммоль/дм³ одновалентных, 0,63 двухвалентных, 0,08 трехвалентных и 0,053 четырехвалентных анионов. Такие концентрации электролитов называются *пороговыми*.

Коллоидная частичка вместе с окружающим ее диффузным слоем называется *мицеллой*. На рис. 3.3 представлена схема строения мицеллы золя гидроксида железа (III), полученного вследствие гидролиза хлорида железа (III). Золь – система, состоящая из коллоидных частичек, распределенных в жидкой или газообразной среде.

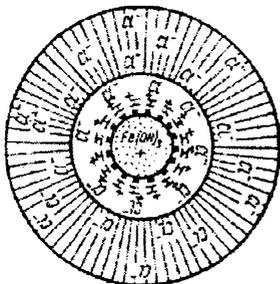
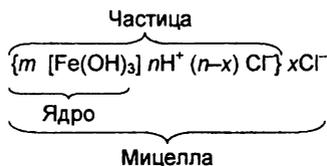


Рис 3.3. Схематическое изображение мицеллы гидроксида железа (III) с положительно заряженной частицей

Если такой средой является вода, система называется *гидрозодем*. Как видно из рис. 3.3, коллоидная частичка золя гидроксида железа (III) состоит из ядра, образованного гидроксидом железа (III), адсорбционно-связанных с ним потенциалообразующих водородных ионов (nH^+) и некоторого количества ионов хлора $[(n-x)Cl^-]$, меньшего, чем количество ионов H^+ , в результате чего коллоидная частичка имеет положительный заряд. Ионы H^+ и входящие в состав частицы противоположные ионы Cl^-

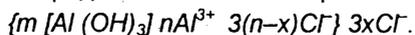
образуют *двойной электрический слой*. Отдельные ионы хлора (xCl^-) образуют диффузный слой и вместе с коллоидной частицей составляют мицеллу золя гидроксида железа (III):



В зависимости от условий образования золь потенциалообразующие ионы и противоионы могут меняться местами.

Золь гидроксида алюминия, образующийся при гидролизе солей алюминия, заряжен положительно при низких значениях pH воды и отрицательно – при высоких. Поверхность коллоидной частички золя приобретает заряд в результате нескольких возможных

процессов: в щелочной среде кристаллическая решетка частички достраивается гидроксильными ионами, находящимися в воде, приобретая отрицательный заряд; в нейтральной и кислой средах – положительный заряд возникает за счет адсорбции решеткой ионов Al^{3+} . Формула мицеллы золя гидроксида алюминия, образовавшегося при гидролизе хлорида алюминия в нейтральной среде, такова:



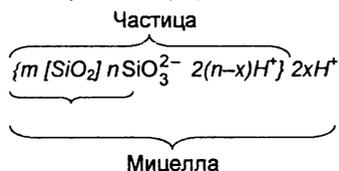
Соответственно при гидролизе растворов сульфата алюминия потенциалобразующими ионами и противоионами будут ионы Al^{3+} и SO_4^{2-} .

Если золь гидроксида алюминия образуется в результате гидролиза алюмината натрия $NaAlO_2$ (при $pH > 8,2$), то он достраивает свою решетку за счет ионов AlO_2^- , приобретая отрицательный заряд:



В некоторых случаях заряд коллоидных частичек образуется не за счет адсорбции ионов из раствора, а в результате диссоциации поверхностного слоя самого ядра, например, при образовании коллоидной кремниевой кислоты. Молекулы SiO_2 , реагируя с водой, дают кремниевую кислоту H_2SiO_3 – слабый электролит с малой степенью диссоциации. Отрицательный заряд частицы кремниевой кислоты обусловлен диссоциацией молекул H_2SiO_3 .

Мицелла оксида кремния (IV) имеет следующий состав:



Так происходит коагуляция гидрофобных зелей, обусловленная адсорбцией ионов и созданием двойного электрического слоя на поверхности коллоидных частичек. Их устойчивость в растворе определяется гидратацией ионов и влиянием зарядов поверхности на ориентированную адсорбцию дипольных молекул воды. Эти гидратные слои полностью зависят от ионных взаимодействий и при электролитной коагуляции не препятствуют слипанию частичек.

Совершенно иной характер устойчивости имеют гидрофильные золи, природа поверхности частичек которых обуславливает образование молекулярных сольватных слоев при участии Ван-дер-Ваальсовых, водородных и комплексных связей, вне зависимости от действия растворов электролитов небольших концентраций. Высокоочищенные золи H_2SiO_3 и $Al(OH)_3$ могут сохраняться в растворе

даже при снижении ξ -потенциала почти до нуля.

Значение гидратных слоев объяснено Б.В. Дерягиным, который установил, что для сближения коллоидных частичек необходимо затратить работу на преодоление сопротивления так называемого «*расклинивающего давления*», обусловленного силами молекулярного сцепления воды с поверхностью частичек. На расстоянии 1 нм и меньше силы взаимного притяжения частичек преобладают над силами сцепления в гидратные слои являются термодинамически устойчивым стабилизирующим фактором.

Аналогично влияют поверхностно-активные вещества. Изменение гидрофильности поверхности частиц в данном случае зависит от ориентации молекул поверхностно-активных веществ в адсорбционном слое. Увеличение гидрофильности и возрастание устойчивости коллоидных частичек в водных системах наблюдается, если полярные группы адсорбированных соединений обращены в сторону дисперсионной среды. Работами П.А. Ребиндера и сотрудников установлено, что ориентация приобретает особое значение при образовании молекулами поверхностно-активных веществ в адсорбционных слоях двумерных гелеобразных структур, обладающих повышенными структурно-механическими свойствами. Это явление называется *коллоидной защитой*, которая заключается в том, что при добавлении гидрофильных веществ к гидрофобным коллоидам они образуют структурно-прочные адсорбционные слои на поверхности частичек и повышают устойчивость последних по отношению к коагулянтам и другим электролитам.

Добавление к золю небольших количеств высокомолекулярных веществ, которые не обеспечивают полного покрытия частиц золя, вызывает явление, противоположное коллоидной защите – *сенсбилизацию*, т. е. повышение чувствительности золя к действию электролитов.

Сенсбилизующее действие высокомолекулярных веществ проявляется независимо от знака заряда поверхности частиц зольей. Термодинамическая устойчивость таких растворов определяется тем, что связь молекул полимерного соединения с водой сильнее их взаимной связи в твердой фазе и тем, что они равномерно распределены во всем объеме растворителя.

3.1.2. Коагуляция гидрофильных и гидрофобных коллоидов

Большинство веществ, обуславливающих мутность и цветность природных вод, являются *гидрофобными* или *слабогидрофильными* коллоидами. Гидрофобны или слабогидрофильны

и коллоиды, которые образуются при очистке воды в результате гидролиза вводимых в воду коагулянтов. Поэтому полное представление о поведении коллоидов в процессе очистки природных вод можно получить лишь при учете факторов устойчивости гидрофобных и гидрофильных коллоидов.

На наличие гидрофильных свойств у коллоидов природных вод указывают три фактора:

- 1) малая чувствительность к содержанию электролитов;
- 2) способность удерживать значительное количество воды их скоагулированными осадками;

3) для некоторых из них, в особенности для продуктов разложения белковых веществ и гуминов, характерно проявление защитного действия по отношению к глинистым и почвенным суспензиям, коллоидной кремниевой кислоте, а также к золям гидроксидов алюминия и железа (III), образующихся при внесении в воду коагулянтов.

Защита гидрофобных коллоидов, с точки зрения водоподготовки, явление нежелательное, поскольку она вызывает образование стойких связей и существенно замедляет осаждение коагулянта.

Соотношение глины и гумуса в комплексе при защите глинистых частичек гумусовыми веществами зависит от pH среды:

pH среды	Состав комплекса (частей гумуса на 100 частей глины)
3,85	9,6
5,0	8,08
5,9	7,26
6,95	6,28
7,25	5,37
7,55	4,65
8,5	2,05

Коллоидные частички гидрофильных органических коллоидов представляют собой агрегаты молекул, свернутых в рыхлый клубок, промежутки в котором заполнены водой. Полярными группами в них (например, в гуминовых веществах) являются фенольные и карбоксильные. Устойчивость гидрофильных коллоидов объясняется развитой гидратной оболочкой. Например, у полярных групп OH , CO_3^{2-} , HCO_3^- , образующих коллоидные гидрофильные частички, молекулы воды, представляющие собой диполи, ориентируются и притягиваются в результате электростатического взаимодействия. По мере удаления от поверхности полярных молекул ориентация молекул воды ослабевает. Устойчивость гидрофильных систем снижается при химической обработке, в результате которой полярные груп-

пы HCO_3^- окисляются до карбонильных – гидрофобных (количество полярных групп в молекуле уменьшается). Для этой цели на станциях водоочистки применяют предварительное хлорирование воды перед введением коагулянта.

При очистке воды 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 сульфата алюминия в воду вносят значительные количества сульфат-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 зелей. 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 зелей коагулянтов, заряжено отрицательно. К таким коллоидам относятся распространенные в природных водах кремниевая кислота, мельчайшие глинистые и почвенные частички, а также гумусовые вещества. Глинистые и почвенные взвеси состоят в основном из гидроалюмосиликатов, имеющих общую формулу $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$.

Вода, входящая в состав глины, по современным представлениям не является кристаллогидратной. Молекула глины представляет собой молекулу алюмосиликатной кислоты, в которой кислород воды входит в состав аниона, а водород является катионом; простейшая формула гидроалюмосиликата $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в этом случае выглядит так: $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$.

Анионы алюмосиликата образуют основу отрицательно заряженной глинистой частички, окруженной сферой положительных компенсирующих ионов водорода. Величина заряда глинистой частички и его знак зависят от pH воды, в которой суспензирована глина, поскольку при повышении концентрации ионов водорода уменьшается диссоциация алюмосиликатной кислоты, а благодаря этому

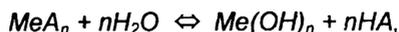
и количество свободных ионов, обуславливающих устойчивость коллоидных частиц. Технологический опыт подтверждает, что глинистые взвеси значительно скорее отстаиваются и коагулируют при подкислении воды.

Гумусовые вещества, также имеющие кислотный характер, в природных водах встречаются в виде стойких высокодисперсных отрицательно заряженных зольей. Основу частиц составляют анионы гуминовых кислот; ионы водорода или катионы металлов составляют внешнюю оболочку двойного электрического слоя.

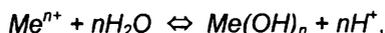
3.1.3. Влияние полноты гидролиза коагулянтов на процесс коагуляции

Используемые в водоподготовке коагулянты чаще всего являются солями слабых оснований и сильных кислот ($Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ и др.). При растворении они подвергаются гидролизу. Взаимодействуя с гидроксильными ионами, содержащимися в воде, в результате электролитической диссоциации последней эти соли образуют малорастворимые основания. В воде накапливаются ионы водорода, и раствор приобретает кислую реакцию.

Полнота гидролиза имеет большое значение как для самой коагуляции, так и для качества очищаемой воды, поскольку наличие ионов алюминия в очищенной питьевой воде недопустимо. Гидролиз соли слабого основания и сильной кислоты протекает по уравнению



или в ионной форме



где Me^{n+} – катион; A^- – анион соли.

Скорость гидролиза можно описать уравнением

$$V = k_r [Me^{n+}] [H_2O],$$

где V – скорость гидролиза; k_r – константа гидролиза; $[Me^{n+}]$ – концентрация катионов в растворе коагулянта; $[H_2O]$ – концентрация воды в растворе.

Из уравнения следует, что скорость гидролиза пропорциональна концентрации катионов коагулянта. Поскольку применяющиеся концентрации растворов коагулянта незначительны, можно считать, что скорость гидролиза коагулянта прямо пропорциональна его концентрации (или его дозе), введенной в воду. С повышением температуры на каждые 10 градусов скорость гидролиза, как и большинства химических реакций, возрастает примерно в 2-4 раза

(правило Вант-Гоффа).

Константу гидролиза можно вычислить по уравнению

$$k_{\Gamma} = \frac{[Me(OH)_n][H^+]^n}{[Me^{n+}]} = k[H_2O]^n.$$

Необходимым условием для более полного протекания гидролиза является удаление из сферы реакции образующихся $Fe(OH)_3$ или $Al(OH)_3$, а также связывание ионов H^+ в малодиссоциированные молекулы. Гидролиз усиливается с разбавлением коагулянта.

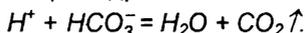
Более полному гидролизу подвержены коагулянты, образующие гидроксиды с меньшей константой диссоциации (величиной, характеризующей способность электролитов диссоциировать на ионы) или меньшим, произведением растворимости (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Растворимость гидроксидов некоторых металлов ($t = 18^{\circ}C$)

Гидроксид	Произведение растворимости	Растворимость	
		г-моль/дм ³	г/100 мл H ₂ O
$Al(OH)_3$	$1,9 \cdot 10^{-33}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-8}$
$Fe(OH)_2$	$6,3 \cdot 10^{-16}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$4,40 \cdot 10^{-5}$
$Fe(OH)_3$	$3,8 \cdot 10^{-38}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$2,13 \cdot 10^{-9}$

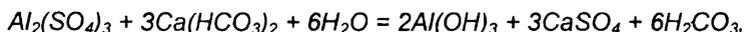
Приведенные в таблице данные показывают, что гидролиз солей железа (III) должен протекать полнее, чем солей алюминия, и значительно полнее, чем солей железа (II).

Как следует из уравнения константы гидролиза, с увеличением степени гидролиза pH раствора должно уменьшаться. Любое повышение pH раствора обеспечивает полный гидролиз введенного в воду коагулянта. Для быстрого и полного гидролиза коагулянтов необходим некоторый щелочной резерв воды, т. е. наличие в ней определенной количества ионов HCO_3^- , которые связывают ионы водорода, выделяющиеся при гидролизе:



Благодаря наличию в воде буферной системы $HCO_3^- - H_2CO_3$ с pH, близким к 7, pH воды при гидролизе коагулянтов в большинстве случаев изменяется незначительно.

На основании уравнения реакции гидролиза коагулянтов можно подсчитать количество гидрокарбонат-ионов, необходимое для нейтрализации кислоты, которая образуется при гидролизе определенной дозы коагулянта. Из суммарной реакции гидролиза сульфата алюминия в присутствии гидрокарбонат-ионов, описываемой уравнением



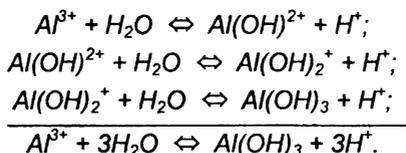
следует, что на каждые 342 мг сульфата алюминия расходуется

6 мг-экв гидрокарбонат-ионов.

В тех случаях, когда количество гидрокарбонат-ионов, содержащихся в воде, недостаточно для полного гидролиза коагулянта, щелочность воды повышают введением известкового молока или раствора кальцинированной соды. В первом случае эффект подщелачивания объясняется связыванием ионов H^+ гидроксильными ионами извести, во втором – связыванием ионов H^+ в гидрокарбонат-ионы. Применение кальцинированной соды возможно только для воды, используемой для технических целей.

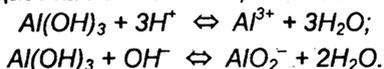
Зная щелочность обрабатываемой воды и дозу введенного коагулянта, можно вычислить количество (дозу) извести или соды, необходимое для гидролиза и обеспечения резервной остаточной щелочности, равной 1 мг-экв/дм³.

Гидролиз солей алюминия, используемых в качестве коагулянтов, протекает в несколько стадий:



Степень гидролиза повышается с разбавлением раствора, повышением его температуры и рН.

Гидроксид алюминия является типичным амфотерным соединением, т. е. обладает как кислотными, так и основными свойствами:



Константа равновесия для первого уравнения

$$k_1 = \frac{[Al^{3+}]}{[Al(OH)_3][H^+]^3}, \text{ или } k'_1 = \frac{[Al^{3+}]}{[H^+]^3}$$

($Al(OH)_3$ содержится в твердой фазе и концентрация его в растворе постоянна), откуда

$$[Al^{3+}] = k' [H^+]^3.$$

Для второго уравнения константа равновесия

$$k_2 = \frac{[AlO_2^-]}{[Al(OH)_3][OH^-]}, \text{ или } k'_2 = \frac{[AlO_2^-]}{[OH^-]},$$

$$\text{откуда } [AlO_2^-] = k'_2 [OH^-] = \frac{k'_2 k_W}{[H^+]},$$

где k_W , – ионное произведение воды (величина постоянная, завися-

щая только от температуры).

Таким образом, растворимость $Al(OH)_3$ в кислой среде прямо пропорциональна концентрации водородных ионов в третьей степени $[H^+]^3$, а в щелочной – обратно пропорциональна $[H^+]$.

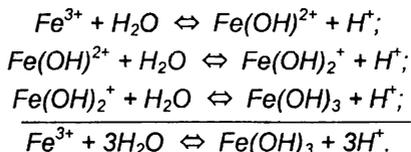
Осаждение $Al(OH)_3$ начинается при $pH=3$ и становится полным при $pH=7$. Дальнейшее повышение pH ведет к растворению осадка, заметному при $pH=9$. Рентгенографически установлено, что в гидрокарбонатно-хлоридных и гидрокарбонатно-сульфатных средах частички формируются с образованием гидраргиллита – $Al(OH)_3$, способного существовать в этих условиях длительное время.

При коагулировании в кислых и нейтральных средах, содержащих небольшое количество гидрокарбонатов, для нейтрализации ионов H^+ , накапливающихся в воде при гидролизе $Al_2(SO_4)_3$, можно применять смесь $Al_2(SO_4)_3$ и $NaAlO_2$. В этом случае накапливающиеся ионы водорода будут нейтрализоваться гидроксильными ионами, образующимися при гидролизе алюмината натрия:

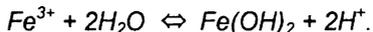


Если необходимое соотношение между сульфатом алюминия и алюминатом натрия в смеси выдержано, то при гидролизе значение pH воды практически не изменяется и гидролиз обеих солей протекает достаточно полно.

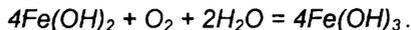
Гидролиз хлорида железа (III) также происходит ступенчато:



Гидролиз железного купороса в воде выражается уравнением:



В связи с тем, что растворимость $Fe(OH)_3$ велика и гидроксид железа (II) значительно диссоциирован, равновесие реакции гидролиза сильно смещено влево. Образующийся гидроксид железа (II) под действием кислорода, растворенного в воде, окисляется в гидроксид железа (III):



Хлопья гидроксида железа (III) образуются быстрее всего при $pH=5-7$, причем оптимум находится между значениями pH 6,1 и 6,5. Изoeлектрическая точка гидроксида железа (III) соответствует значению pH несколько большему 6,5. Хлопьеобразование гидроксида железа (III), в отличие от гидроксида алюминия, протекает в значи-

тельно более широком диапазоне значений pH.

Рентгенографически установлено, что при гидролизе солей железа (III) в гидрокарбонатно-хлоридных и гидрокарбонатно-сульфатных средах образуется одна и та же модификация гидроксида железа (III) – гетит [$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$].

Характерно, что α -гидроксид железа (III) образуется и в случае гидролиза солей железа (II), например железного купороса, окисляемого хлором или растворенным в воде кислородом при подщелачивании известью.

Для нормальной коагуляции большую роль играют размеры и структура частиц гидроксидов, причем размеры частиц, выделяющихся при гидролизе коагулянтов, зависят, главным образом, от степени пересыщения раствора. В процессе водоочистки гидролиз солей-коагулянтов протекает в разбавленных растворах, что создает условия слабого пересыщения и благоприятствует образованию крупных частичек при обеспечении необходимого периода времени на их формирование. Структура выделяющихся из раствора частичек зависит от скорости двух протекающих одновременно процессов: беспорядочного слипания частичек при столкновениях (агрегации) и роста кристаллов (ориентации). При незначительном пересыщении главную роль играет скорость ориентации, которая у гидроксидов понижается с увеличением числа гидроксильных ионов, связанных с атомом металла. Поэтому частички гидроксидов двухвалентных металлов имеют кристаллическую форму, а гидроксиды трехвалентных металлов (алюминия и железа) выделяются главным образом в аморфном состоянии.

3.1.4. Влияние физико-химических факторов на процессы осветления и обесцвечивания природных вод коагуляцией

Характер осветления природных вод определяется свойствами взвеси: при наличии крупных частичек вода осветляется благодаря их оседанию под влиянием силы гравитации, а при наличии высокодисперсных частичек осветление воды определяется их обменной катионной емкостью. Если эта емкость превышает 250 мг-экв/дм^3 , вода осветляется без добавления коагулянта в результате сжатия двойного электрического слоя за счет обмена одновалентных ионов на двух- и трехвалентные. Природные воды обычно содержат взвесь со значительно меньшей обменной емкостью. В этом случае эффективное хлопьеобразование наступает лишь при добавлении коагулянта, образующего гидроксид, к хлопьям которого прилипают частички взвеси, или он сам обволакивает взвешенные вещества. Большое значение

имеет также *ортокинетическая коагуляция* вследствие захватывания взвеси сеткой оседающих хлопьев гидроксида.

Из сказанного следует, что процесс коагулирования зависит прежде всего от солевого состава воды, главным образом от ее анионного состава, поскольку $Al(OH)_3$ и $Fe(OH)_3$ заряжены положительно и коагулирующими ионами для них являются анионы. Самыми распространенными анионами большинства природных вод являются SO_4^{2-} , Cl^- и HCO_3^- . Концентрация этих анионов, обеспечивающая максимальную скорость коагуляции гидроксидов алюминия и железа (III), составляет: для SO_4^{2-} – 0,001-0,002 н., для Cl^- – 0,07 н. и для HCO_3^- – 0,005 н. В природных водах концентрация этих анионов обычно ниже, следовательно, коагуляция гидроксидов протекает с меньшей скоростью.

Процесс искусственного обесцвечивания воды согласно современными представлениям протекает следующим образом. При добавлении к очищаемой воде раствора коагулянтов $Al_2(SO_4)_3$ или $FeCl_3$ в течение первых 30-180 с проходит гидролиз добавленных солей и образуются коллоидные гидроксиды алюминия и железа, имеющие огромные активные поверхности. Коллоидные примеси, содержащиеся в воде, адсорбируются на поверхности частичек гидроксидов.

При адсорбции следует различать два процесса; *собственно адсорбцию* и *фиксацию* (закрепление) адсорбированных коллоидов на поверхности. В первом процессе главную роль играют силы межмолекулярного взаимодействия. Адсорбция коллоидных частичек зависит от их *дисперсности*: она тем больше, чем выше дисперсность и чем меньше устойчивость частичек.

Причины фиксации могут быть различными. Чаще всего необходимость процесса адсорбции гуминов и других коллоидных загрязнений воды на $Al(OH)_3$ вызывается образованием особого рода поверхностных соединений – лаков. Большое значение в процессе фиксации адсорбированных коллоидов имеет их коагуляция вследствие разноименности зарядов адсорбированных частичек и поверхности адсорбента. Наличие заряда у адсорбирующихся коллоидных частичек влияет на их адсорбируемость.

Коагуляция частичек $Al(OH)_3$ и $Fe(OH)_3$, а также связанное с этим выделение их из воды совместно с адсорбированными на их поверхности коллоидными примесями происходит под действием растворенных в воде электролитов. В связи с этим очистка цветных вод с повышенной степенью минерализации протекает обычно лучше, чем мягких, бедных солями вод.

Из описанного процесса обесцвечивания следует, что коагуля-

ции подвергаются не коллоидные примеси воды, а образующиеся при гидролизе коагулянтов гидроксиды. Вода очищается не в результате коагуляции, а вследствие адсорбции различных коллоидных и высокомолекулярных примесей на поверхности гидроксидов. Процесс коагуляции гидроксидов фактически приводит к удалению отработанного сорбента из очищенной воды.

Для установления влияния соотношения ионов в воде на скорость коагуляции удобно пользоваться методом треугольных диаграмм. Основой построения треугольной диаграммы служит геометрическая теорема, согласно которой сумма длин перпендикуляров, опущенных из любой точки, лежащей внутри равностороннего треугольника, на его стороны, равна его высоте. Если из вершин равностороннего треугольника ABC (рис. 3.4), отвечающих чистым компонентам тройной смеси, опустить на соответствующие стороны три высоты (на рисунке не показано) и каждую разделить на несколько равных частей, а затем через полученные отрезки провести линии, параллельные сторонам треугольника, то деления сторон дадут состав двойных смесей, а точки сетки внутри треугольника – состав тройных систем. Так, точка, приведенная на рис. 3.4, соответствует составу, %: 20 компонента А, 40 компонента В и 40 компонента С.

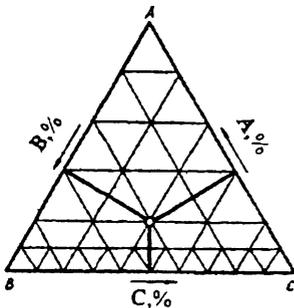


Рис. 3.4. Построение треугольной диаграммы

на соответствующие стороны три высоты (на рисунке не показано) и каждую разделить на несколько равных частей, а затем через полученные отрезки провести линии, параллельные сторонам треугольника, то деления сторон дадут состав двойных смесей, а точки сетки внутри треугольника – состав тройных систем. Так, точка, приведенная на рис. 3.4, соответствует составу, %: 20 компонента А, 40 компонента В и 40

компонента С.

В качестве модели природной воды при построении треугольных диаграмм пользуются дистиллированной водой, в которую вводятся определенные количества электролитов. На рис. 3.5 изображены треугольные диаграммы, иллюстрирующие влияние анионного состава воды на коагулирование при введении различных доз коагулянтов $Al_2(SO_4)_3$ и $FeCl_3$. Суммарная концентрация электролитов природных вод, исследуемых при помощи диаграмм, принята 10 мг-экв/дм³.

Таким образом, вершины треугольных диаграмм соответствуют содержанию в исходном растворе 10 мг-экв/дм³ Cl^- , SO_4^{2-} и HCO_3^- -ионов. Точки на диаграмме, отвечающие одинаковой длительности процессов хлопьеобразования и осаждения, соединяются линиями (так называемые *изолинии*).

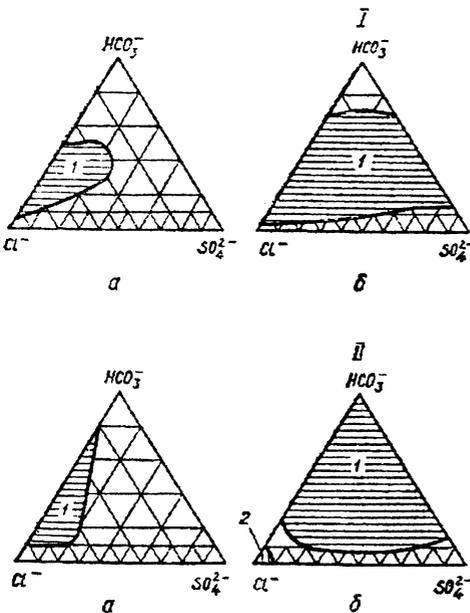


Рис. 3.5. Влияние состава воды на процесс коагуляции при введении различных доз $Al_2(SO_4)_3$ (I) и $FeCl_3$ (II): Дозы: а – 50; б – 100; 1 – зона, в которой процесс коагуляции заканчивается в течение 3 ч; 2 – стабильная зона.

Из рис. 3.5 видно, что с увеличением дозы коагулянта от 50 до 150 мг/дм³ зона, в которой процесс коагулирования заканчивается за 3 ч, расширяется. Характерно, что для хлорида железа (III) зона оптимальной коагуляции распространяется на большую площадь треугольника, чем для сульфата алюминия, что свидетельствует о меньшем влиянии анионного состава при коагулировании примесей воды хлоридом железа (III).

3.2. КОНТАКТНАЯ КОАГУЛЯЦИЯ

Контактной коагуляцией называется процесс прилипания микроскопических коллоидных и взвешенных частиц примесей воды к макроскопическим частицам сорбента или к поверхностям зернистого материала под действием молекулярных сил притяжения.

Процесс взаимодействия и слипания частиц, значительно отличающихся своими размерами, по своей физической сущности является *коагуляционным*.

Здесь так же, как и при взаимодействии частиц относительно одинаковых размеров, сближение их происходит под действием сил броуновского движения, в результате перемешивания или направленного движения мелких частиц относительно крупных. Удерживание мелких частиц на поверхности крупных также обусловлено, как показали исследования Д.М. Минца, С.А. Шуберта, В.П. Криштула, Л.Н. Паскуцкой и др., Ван-дер-ваальсовыми силами межмолекуляр-

ного притяжения.

Однако характер протекания этого процесса, по сравнению с обычной коагуляцией, имеет некоторые особенности. К ним относятся: увеличение скорости и полноты извлечения из воды мелких частиц крупными и повышение интенсивности прилипания частиц; значительно меньшая устойчивость мелких частиц в отношении прилипания к поверхности крупных. На процесс контактной коагуляции почти не влияют температура воды и ее щелочность. Чем выше относительная концентрация крупных частиц взвеси по отношению к мелким, тем в большей степени проявляются эти особенности.

Процесс контактной коагуляции имеет очень важное значение в водоподготовке.

Из практики известно, что присутствие в воде грубодисперсных взвесей ускоряет процесс коагуляции примесей и осветления воды. Так, например, поступление из камер хлопьеобразования в отстойники скоагулированной взвеси, имеющей различную степень дисперсности, приводит при осаждении к столкновению крупных частиц с мелкими, которые прилипают к их поверхности и осаждаются с большей скоростью.

Увеличение эффекта коагулирования примесей воды в процессе дробного, раздельного и прерывистого коагулирования, рециркуляции осадка также может быть объяснено контактированием мелких частиц примесей воды с крупными частицами гидроксидов.

Процесс слипания частиц, сильно различающихся своими размерами, имеет особенно большое значение при осветлении воды в контактных осветлителях и фильтрах и в осветлителях со слоем взвешенной контактной среды.

При фильтровании воды, в которую только что был добавлен коагулянт, через зернистую загрузку концентрация коллоидных и взвешенных примесей значительно уменьшается. Коагуляция в слое зернистых материалов протекает полнее и во много раз быстрее, чем при обычной коагуляции в свободном объеме. Укрупнение частиц гидроксидов, сорбировавших примеси, с образованием хлопьев происходит в слое фильтрующей загрузки в результате прилипания коагулирующих частиц к зернам фильтрующего материала.

Оптимальную дозу коагулянта при дозировании его перед фильтрами устанавливают на основании кривых контактной коагуляции, характеризующих зависимость цветности или мутности воды от дозы коагулянта при фильтровании ее через бумажный фильтр. Оптимальная доза принимается на 5-10% больше дозы, отвечающей границе резкого спада кривой.

При проведении коагуляции в слое зернистой загрузки отпадает необходимость в камерах хлопьеобразования, отстойниках или осветлителях.

Взвешенная контактная среда в осветлителях формируется из гидроксидов алюминия или железа и представляет собой фильтр, обеспечивающий ускорение процесса осветления воды от взвешенных веществ. При прохождении окрашенных природных вод через массу осадка гидроксида с не полностью использованной адсорбционной емкостью улучшается обесцвечивание воды. Применение осветлителей позволяет значительно сократить объем очистных сооружений, улучшить работу фильтров и снизить расход реагентов.

3.3. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОАГУЛЯЦИЯ

3.3.1. Основы процесса электрохимического растворения металлов

Прогрессивным направлением в водоподготовке является применение *электрохимических методов*, в частности метода очистки воды в электролизере с растворимыми электродами, известно в литературе под названием «*электрокоагуляция*».

В случае применения растворимых металлических электродов электродный процесс сопровождается совокупностью электрохимических явлений и реакций, скорость которых согласно законам электрохимической кинетики определяется общим значением потенциала на границе металл–раствор, составом раствора и условиями диффузии компонентов или продуктов реакции в растворе.

В результате электролиза на электродах восстанавливаются или окисляются компоненты электролита. В переносе тока принимают участие все находящиеся в воде ионы, а также имеющие заряд коллоидные и взвешенные частицы. Однако из-за малой подвижности последних в основном перенос электричества в природных водах осуществляют катионы $K^+, Ca^{2+}, Na^+, Mg^{2+}$ и анионы HCO_3^-, SO_4^{2-} и Cl^- , а также ионы H^+ и OH^- , всегда содержащиеся в воде.

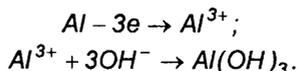
Количество металла m , растворившегося в воде в результате электролиза, определяется по формуле:

$$m = \eta \cdot \frac{tAI}{Fn}$$

Теоретически при расходе электричества 26,8 А·ч растворяется 8,99 г алюминия или 27,93 г железа.

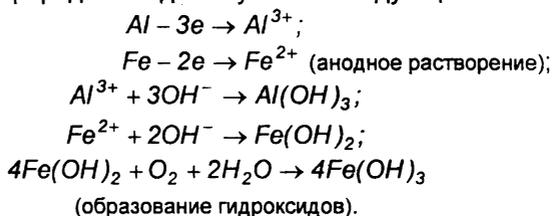
Электрохимическое растворение металлов включает в себя

две основные группы процессов: *растворение за счет внешнего тока (анодное растворение металлов)* и *химическое растворение* в результате взаимодействия с окружающей средой. Так, на алюминиевом аноде могут протекать химические реакции, непосредственно не связанные с действием электрического тока:

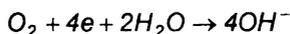
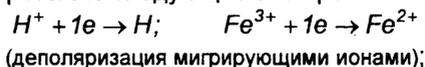


Процессу химического растворения алюминия способствует наличие в воде ионов-депассиваторов, повышение скорости движения жидкости по отношению к поверхности металла, наложение постоянного электрического тока и другие факторы. В связи с этим выход алюминия по току может достигать 130-140%.

Согласно теории электрохимической коррозии при использовании в качестве анода алюминия или железа наиболее вероятными реакциями в природной воде могут быть следующие:



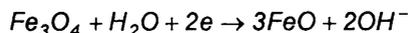
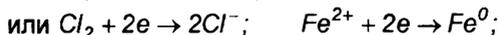
На алюминиевом или железном катоде, помещенном в природную воду, могут протекать следующие электрохимические процессы:



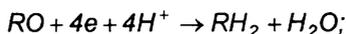
(деполяризация нейтральными молекулами в щелочной среде);



(деполяризация нейтральными молекулами в кислой и нейтральной среде)



(восстановление ионов металлов и нерастворимых пленок, например, оксидов);



(восстановление органических соединений;

R – радикал или органическая молекула).

Из перечисленных катодных процессов в природной воде в основном имеет место кислородная и водородная деполяризация,

причем каждая из этих реакций в зависимости от условий может превалировать. Кроме того, на алюминиевом катоде возможно протекание реакций взаимодействия алюминия с водой



благодаря значительному повышению значения pH (до 10,5-12,0) в прикатодном слое во время электролиза и растворения защитной пленки Al_2O_3 .

Протекание электрохимических процессов на металлических электродах сопровождается адсорбцией на них неорганических и органических веществ, которые могут ускорять или замедлять электрохимические реакции; выделением на электродах пузырьков газа (H_2 , O_2 и др.), которые способны переносить вещество из жидкости на поверхность («электрофлотация»); электрофорезом (движением в воде взвешенных твердых частичек, пузырьков газа, капель другой жидкости и коллоидных частичек) и другими явлениями.

3.3.2. Влияние различных факторов на электрохимическое растворение электродов

На процесс растворения электродов влияют физико-химические, электрические и гидродинамические факторы: активная реакция среды, ее солевой состав, температура, состав электрода, плотность тока, частота смены полярности, скорость движения воды в межэлектродном пространстве и др.

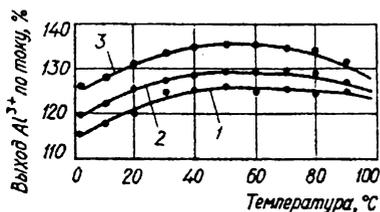


Рис 3.6 Зависимость выхода алюминия по току от температуры воды:

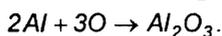
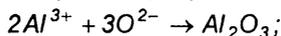
1, 2, 3 – плотность тока соответственно 2, 5, и 10 мА/см².

На рис. 3.6 представлена зависимость выхода алюминия по току от температуры воды. Существенное значение при очистке воды электрокоагуляцией имеет плотность тока. Наиболее эффективной может быть работа электролизеров при высоких плотностях тока, поскольку при этом более интенсивно используется их емкость и рабочая поверхность электродов. Однако с повышением плотности тока усиливаются поляризационные явления и пассивация электродов, что приводит к возрастанию напряжения и затрате электроэнергии на побочные процессы. Например, железные электроды более восприимчивы к пассивации, чем алюминиевые.

С ростом плотности тока увеличивается скорость химического растворения алюминия, и тем в большей степени, чем меньше его

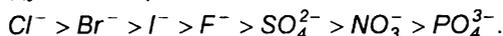
чистота. Существуют противоречивые мнения относительно выбора оптимальной плотности и частоты смены полярности тока на электродах. Большинство исследователей рекомендует плотность тока в пределах 0,5-20 мА/см², расстояние между электродами 10-15 мм. По данным Л.А. Кульского, П.П. Строкача и В.А. Слипченко, Н.П. Яловой, эффективной плотностью тока для удаления из воды большинства загрязнений может быть 1-4 мА/см². С учетом мероприятий по технике безопасности рабочее напряжение на электродах установок не должно превышать 40 В.

Для предотвращения образования осадка рекомендуется менять на электродах полярность тока. Однако смена полярности тока не всегда эффективна: в период переключения полярности резко снижается выход алюминия по току, и трудно удаляются осадки на электродах. Процесс активного окисления металлов при электролизе осложняется их *пассивацией*. Например, на поверхности алюминия оксидная пленка образуется в результате реакций:



При этом потенциал анода смещается в сторону положительных значений. Степень активности алюминиевого анода в значительной мере зависит от природы и концентрации присутствующего в растворе аниона. Из всех анионов на активность алюминиевого анода более всего влияет хлорид-ион.

Механизм активизирующего действия хлорид-ионов связан с их небольшими геометрическими размерами и легкостью проникновения через пленку, в результате чего она разрушается. Относительная способность различных анионов проникать через пленку бывает в следующем порядке:



Активация алюминиевого анода хлорид-ионами также объясняется сильным замедлением процесса образования оксидной пленки, связанным с адсорбционным вытеснением кислорода.

Повышение концентрации сульфатов по отношению к постоянной концентрации хлоридов приводит к полному угнетению активизирующего действия хлорид-ионов на оксидную пленку:

Рост температуры воды препятствует образованию осадков на электродах, увеличивает скорость растворения пассивной пленки, уменьшает ее толщину и защитные свойства. Пленка становится рыхлой и легко удаляется с поверхности алюминия. Особенно усиливается разрушение оксидной пленки в присутствии хлорид-ионов, сорбция которых на алюминии с повышением температуры возрастает.

Растворение 1 г металлического алюминия эквивалентно введению в воду $12,3 \text{ г } Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, растворение 1 г металлического железа – введению $4,8 \text{ г } FeCl_3 \cdot 6H_2O$ или $4,9 \text{ г } FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

3.3.3. Конструкции электрокоагуляторов

Большинство устройств для очистки воды электрокоагуляцией представляет собой безнапорные пластинчатые электролизеры горизонтального или вертикального типа. Пластины металла располагаются вертикально на расстоянии 3-20 мм одна от другой и удерживаются изолирующими вставками, электрический ток подводится к каждой пластине (рис. 3.7).

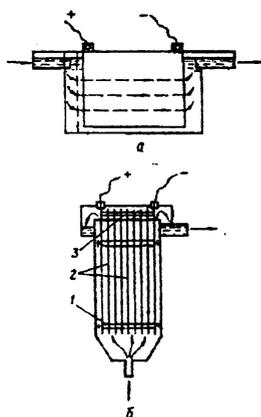


Рис. 3.7. Безнапорные пластинчатые электрокоагуляторы:
а – горизонтальные;
б – вертикальные:

1 – изолирующие вставки; 2 – электродные пластины; 3 – токоведущие вставки.

Промежуточные пластины растворяются вследствие поляризации в возникающем электрическом поле (рис. 3.8).

Пластинчатые электролизеры в зависимости от расположения электродов и направляющих пере-

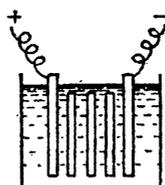


Рис. 3.8. Электролизер с биполярным подключением электродов

С целью упрощения монтажа электрокоагуляторов и уменьшения потребляемой силы тока применяется биполярное подключение электродов, т. е. подвод тока не к каждой пластине, а через несколько пластин.

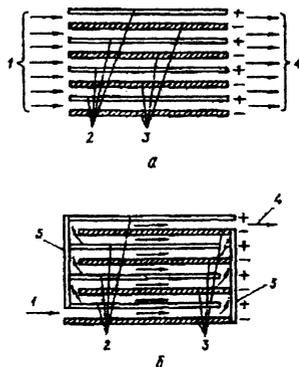


Рис. 3.9. Многопоточная (а) и однопоточная (б) схемы движения воды в электрокоагуляторе:

1 – поступление исходной воды; 2 – анод; 3 – катод; 4 – выход обработанной воды; 5 – виниловые перегородки.

городок могут работать как многопоточные и как однопоточные (рис. 3.9). При многопоточной схеме движения вода проходит одновременно через все промежутки между электродами (параллельное соединение каналов). Этот тип электролизера конструктивно наиболее прост, но скорость движения воды мала. Для борьбы с пассивацией электродов некоторые исследователи рекомендуют применять однопоточную схему, при которой вода проходит по лабиринту, образуемому электродами (последовательное соединение каналов). При этом скорость движения воды относительно электродов в $n-1$ раз больше, чем при многопоточной схеме (n – число электродных пластин).

Кроме того есть ряд конструкций электролизеров, в которых предусматривается механическая, пневмогидравлическая или эрозивная (абразивным материалом) очистка электродов от образующихся на них в процессе работы осадков. Так, для очистки воды от взвешенных и растворенных в ней примесей с целью увеличения эффективности очистки воды электроды укреплены на вращающемся валу, установленном в корпусе. Засорение межэлектродного пространства в устройстве предотвращается расположенной внутри корпуса гребенкой, между зубцами которой размещены электроды.

Для осветления, обесцвечивания и умягчения питьевых и технических вод разработан реактор-электрокоагулятор (рис. 3.10). Вода через трубу подается в эжектор и циркулирует в пространстве между электродами, охватывающими эжектор. Обработанная вода выходит из аппарата по трубе, установленной тангенциально к его корпусу. Особенности конструкции электролизера позволяют уменьшить поляризацию электродов, снизить расходы электроэнергии, улучшить гидравлические и физико-химические условия формирования хлопьев коагулянта и осуществить очистку периодической подачей воздуха. Использование в качестве электродов листового металла затрудняет широкое приме-

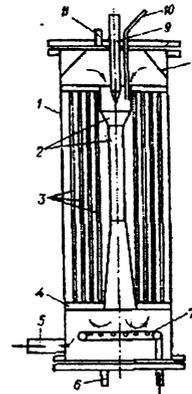


Рис. 3.10. Реактор-электрокоагулятор для обработки воды:

- 1 – корпус; 2 – эжекторная система; 3 – цилиндрические электроды; 4 – опоры; 5 – трубы для отвода воды; 6 – патрубок для опорожнения аппарата; 7 – трубопровод для подачи воздуха; 8 – конус для отвода газов; 9 – трубопровод для подачи воды; 10 – трубопровод для подачи реагентов; 11 – трубопровод для отвода газов.

нение метода электрокоагуляции. Замена листового металла отходами в виде стружек, обрезков достигается при использовании электролизеров с засыпными электродами (рис. 3.11).

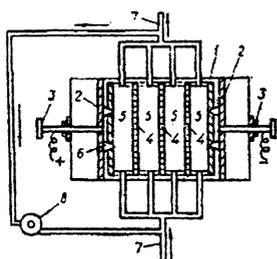


Рис. 3.11. Электролизер с засыпными электродами:

1 – ванна электролизера; 2 – неэлектропроводные торцевые пластины; 3 – винты для уплотнения засыпки; 4 – диафрагмы; 5 – засыпка из металлических опилок; 6 – токоподводы; 7 – подвод и отвод воды; 8 – циркуляционный насос.

Электролизер состоит из ячеек, отделенных одна от другой сепараторами. Каждая ячейка заполняется металлическими опилками. Подвод тока может осуществляться либо только к крайним электродам, либо к каждой ячейке. Предусмотрены специальные приспособления для уплотнения засыпки и смены полярности тока. При эксплуатации электрокоагулятора сепаратор забивается гидроксидом металла, в связи с чем значительно увеличивается гидравлическое сопротивление ячеек.

Исследования, проведенные в электролизерах с использованием в качестве анода алюминиевых или железных стружек, дали хорошие результаты только при кратковременной работе и оказались непригодными для длительной работы из-за несовершенства их конструкции, пассивации анода и других недостатков.

Работы по созданию электролизеров с использованием в качестве анода отходов металлов (стружки) и выяснению условий прохождения в них тока ведутся в АКХ.

Одной из разновидностей электролизеров с засыпными электродами является электрофильтр для очистки сточных вод предприятий мясомолочной промышленности, разработанный в НИКТИ ГХ Украины. Он представляет собой прямоугольную раму, на которой укреплена катодная стальная сетка с ячейками 5×5 или 2,5×2,5 мм и анодный блок, засыпанный стальной стружкой. Для подвода тока к растворяющейся стружке используется сварная решетка из прутьев диаметром 14 мм и расстоянием между ними 20 мм. Засыпной электрод с двух сторон ограничен капроновой сеткой с ячейками 2×2 мм. Расстояние между засыпным анодом и сетчатым катодом составляет 20 мм, анодная плотность тока – 2 мА/см².

Электрофильтр устанавливают перед камерой флотации поперек потока, и сточная вода, фильтруясь через него, насыщается катионами железа (II) и пузырьками водорода.

Однако применение засыпных электролизеров для обработки

воды имеет существенные недостатки: пассивация анодов и снижение выхода металла по току; накопление между стружками гидроксидов металлов с адсорбированными на них загрязнениями, что приводит к их слипанию и цементации; увеличение напряжения и расхода электроэнергии за счет возрастания сопротивления ячеек и необходимость специальной обработки материала стружек с целью удаления с их поверхности масел и других веществ.

Метод электрокоагуляции обеспечивает высокий эффект удаления из воды загрязнений в виде взвесей (минерального, органического и биологического происхождения), коллоидов (соединений железа, веществ, обуславливающих цветность воды и т.д.), а также отдельных веществ, находящихся в молекулярном и ионном состоянии. Существенным преимуществом электрокоагуляции перед реагентными методами очистки воды является возможность отказа от строительства громоздких очистных сооружений, занимающих значительные производственные площади. Эксплуатация установок может быть значительно упрощена вследствие того, что электрохимические процессы легко поддаются механизации, управлению и автоматизации. Электрокоагуляция позволяет осуществлять процесс очистки воды в компактных, автоматически действующих и легко обслуживаемых установках и особенно удобна для небольших автономных объектов (на судах речного флота, в сельском хозяйстве, для малых поселков и т. д.).

Современное развитие теплоэнергетики, радиоэлектроники, целлюлозно-бумажного, текстильного и других производств предъявляет повышенные требования к качеству воды, особенно к содержанию в ней соединений кремния, железа, кислорода, органических и других веществ. Однако еще нет достаточно простых и высокоэффективных методов предварительной подготовки воды. Высокая сорбционная способность электрохимически получаемого гидроксида алюминия по отношению к загрязнениям воды и другие преимущества метода электрокоагуляции позволяют использовать его для очистки технических, питьевых и сточных вод.

3.4. КОАГУЛЯНТЫ И ФЛОКУЛЯНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВОДОПОДГОТОВКЕ

3.4.1. Технологическая характеристика, получение и свойства коагулянтов

Среди множества применяемых в водоподготовке коагулянтов наиболее распространены сульфат алюминия и хлорид железа (III). Для целей хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения в большинстве случаев используются коагулянты в растворенном состоянии. В табл. 3.2 приведена растворимость коагулянтов (в пересчете на безводный продукт), а в табл. 3.3 – плотность растворов коагулянтов различной концентрации.

Таблица 3.2. Растворимость коагулянтов

Вещество	Температура раствора, °С								
	0	10	20	30	40	50	60	80	100
	Растворимость, масс. %								
$Al_2(SO_4)_2$	23,8	25,1	26,7	28,8	31,4	34,3	37,2	42,2	47,1
$FeCl_3$	42,7	45,0	47,9	51,6	–	78,2	78,9	84,0	84,3
$FeSO_4$	13,5	17,0	21,0	24,8	28,7	32,3	35,5	30,5	–

Таблица 3.3. Плотность растворов коагулянтов

Вещество	Температура раствора, °С	Концентрация раствора, мас. %									
		1	2	4	6	8	10	20	30	40	50
		Плотность раствора, кг/м ³									
$Al_2(SO_4)_2$	19,0	1009	1019	1040	1060	1033	1105	1226	1333 (при 28 %)	–	–
$FeCl_3$	17,5	1007	1015	1032	1049	1067	1085	1182	1291	1417	1551
$Fe_2(SO_4)_3$	17,5	1007	1016	1033	1050	1067	1084	1181	1307	1449	1613
$FeSO_4$	18,0	1008	1018	1037	1057	1078	1100	1213	–	–	–

Приведенную в этих таблицах массовую концентрацию C_M (число граммов растворенного вещества в 100 г раствора) можно перевести в объемно-массовую концентрацию $C_{O,M}$ (число граммов растворенного вещества в 1 дм³ раствора) по уравнению

$$C_{O,M} = 10 d C_M,$$

где d – относительная плотность раствора (для воды $d = 1000 \text{ кг/м}^3$).

Зависимость плотности от температуры выражается формулой:

$$d_t = d_{t_n} + \alpha(t_0 - t),$$

где α – температурный коэффициент плотности; t_0 , t – соответственно температуры измеренная и расчетная.

Для большинства растворов температурный коэффициент в интервале 5-35°С составляет примерно 0,25-0,4 кг/(м³·С). Первое значение соответствует концентрации раствора 1 мас.%, второе – 7,5 мас.% (для воды $\alpha = 0,2 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{С)}$).

В технологии водоподготовки применяются следующие алюминийсодержащие коагулянты: сульфат алюминия, оксихлорид алюминия, алюминат натрия (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Виды и состав алюминийсодержащих коагулянтов

Коагулянт	Формула	Содержание, масс. %	
		Al_2O_3	нерастворимых примесей
Сульфат алюминия - неочищенный - очищенный	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	>9,5	<23
	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	>13,5	<1
	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	17-19	–
	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	28,5	3,1
Оксихлорид алюминия	$Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$	40-44	–
Алюминат натрия	$NaAlO_2$	45-55	6-8

Сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ – неочищенный технический продукт, представляет собой куски серого или зеленоватого цвета; получают в результате обработки бокситов, нефелинов или глин серной кислотой. Он должен содержать не менее 9,5% Al_2O_3 , что соответствует содержанию около 30% чистого сульфата алюминия.

В нем также обычно содержится около 30% нерастворимых примесей и до 35% влаги.

Очищенный сульфат алюминия получают в виде плит серовато-перламутрового цвета переработкой неочищенного продукта или растворением глинозема в H_2SO_4 . Этот реагент должен содержать не менее 17% Al_2O_3 , что соответствует содержанию 53% чистого $Al_2(SO_4)_3$. Как и неочищенный глинозем, его перевозят навалом в закрытых железнодорожных вагонах.

В нашей стране для обработки воды выпускают также 23-25%-й раствор $Al_2(SO_4)_3$. При его применении отпадает необходимость в специальных устройствах и оборудовании для растворения коагулянта, а также упрощаются и удешевляются погрузочно-разгрузочные работы и транспортирование.

Глинозем обладает недостатками, прежде всего повышенной чувствительностью к pH и температуре очищаемой воды. Изозлектрическая область для $Al(OH)_3$, в которой он имеет наименьшую растворимость, соответствует pH=6,5-7,8.

Оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ представляет собой зеленоватые кристаллы; готовят растворением свежесажденного $Al(OH)_3$ в 0,5-1%-м растворе HCl . При использовании этого коагулянта степень минерализации воды возрастает, а щелочность снижается в меньшей степени, чем при введении $Al_2(SO_4)_3$, что особенно важно для мягких вод.

Алюминат натрия $NaAlO_2$ представляет собой твердые куски белого цвета с перламутровым блеском на изломе; получают его растворением $Al(OH)_3$ или Al_2O_3 в растворе $NaOH$. Товарный продукт содержит 55% Al_2O_3 , 35% Na_2O и до 5% свободной щелочи $NaOH$. Растворимость $NaAlO_2$ – 370 г/дм³ (при 20°C).

В технологии очистки воды используются также железосодержащие коагулянты: хлорид железа (III), сульфаты железа (II) и железа (III), хлорированный железный купорос.

Хлорид железа (III) $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (хлорное железо) представляет собой темные с металлическим блеском кристаллы; легко расплывающиеся на воздухе, поэтому транспортируют его в железных герметических бочках. Получают безводный $FeCl_3$ хлорированием стальной стружки при температуре 700°C, а также как побочный продукт в производстве хлоридов титана, алюминия и других металлов горячим хлорированием руд.

Выпускают продукт двух составов с концентрацией безводного $FeCl_3$ не менее 95-97%. Содержание мышьяка в товарном продукте не должно превышать 0,001 %.

Раствор $FeCl_3$ можно готовить на месте потребления выдерживанием хлорированной стальной стружки в водной среде.

Сульфат железа (II) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (железный купорос) представляет собой прозрачные зеленовато-голубые кристаллы, быстро бурящиеся на воздухе. Товарный продукт выпускается 1-го и 2-го сорта, он содержит соответственно не менее 52 и 47% $FeSO_4$, не более 1 % свободной H_2SO_4 и не более 0,4 и 1% нерастворимого остатка. Поставляют его в деревянных бочках или барабанах массой до 120 кг, а также в ящиках массой 80 кг. По согласованию с потребителем допускается отгрузка его в крытые железнодорожные вагоны или автомашины без упаковки в тару. Выпускают также и 30%-й раствор $FeSO_4$, содержащий до 2% свободной H_2SO_4 ; транспортируют его в гуммированной таре.

Окисление $Fe(OH)_2$, образующегося в результате гидролиза железного купороса, при pH воды менее 8 протекает медленно, что приводит к неполному его осаждению и неудовлетворительному ходу коагуляции. Поэтому перед применением железного купороса в воду вводят известь, активный хлор или оба реагента вместе, что усложняет и удорожает обработку. Поэтому железный купорос используют главным образом на станциях известкового и известково-содового умягчения воды, когда при устранении магниевой жесткости значение pH поддерживают в пределах 10,2-13,3 и соли алюминия не применимы.

Сульфат железа (III) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$ (сульфат железа окисный) обычно готовят растворением $Fe_2(SO_4)_3$ в H_2SO_4 . Про-

дукт кристаллический, очень гигроскопичный, хорошо растворяется в воде.

Соли железа (III), применяемые в качестве коагулянтов, имеют преимущества по сравнению с $Al_2(SO_4)_3$. Так, при их использовании улучшается коагуляция при низких температурах воды, на этот процесс мало влияет pH среды, ускоряется осаждение скоагулированных частичек и сокращается длительность отстаивания (плотность хлопьев $Fe(OH)_3$ больше, чем $Al(OH)_3$).

Недостатком солей железа (III) как коагулянтов является необходимость их тщательного дозирования, поскольку нарушение его приводит к просакиванию железа в очищенную воду. Хлопья $Fe(OH)_3$ осаждаются неравномерно, в связи с чем в воде остается большое количество мелких хлопьев, поступающих на фильтры. Эти недостатки в значительной мере можно устранить, добавив $Al_2(SO_4)_3$.

Хлорированный железный купорос $Fe_2(SO_4)_3 + FeCl_3$ получают непосредственно на водоочистных станциях обработкой раствора $FeSO_4$ хлором.

Теоретический расход хлора составляет 0,128 г на 1 г $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, а практически он достигает 0,160-0,220 г: часть хлора расходуется, по-видимому, на окисление органических примесей воды и образование более сложных соединений с железом. Применяется хлорированный железный купорос на водоочистных станциях в США, Англии, Бельгии, Голландии, Японии.

Смешанный алюможелезный коагулянт готовят из растворов сульфата алюминия (очищенного или неочищенного) и хлорида железа (III) в отношении 1:1 (по массе). Неочищенного сульфата алюминия следует брать на 1 т $FeCl_3$ около 3 т, поскольку он содержит около 30% чистого $Al_2(SO_4)_3$. Указанное соотношение может несколько изменяться в конкретных условиях работы очистных станций. Максимальное отношение $FeCl_3$ и $Al_2(SO_4)_3$ при использовании смешанного коагулянта равно 2:1 (по массе).

Вода, очищенная смешанным коагулянтом, как правило, не дает отложений даже при низкой температуре, поскольку образование и осаждение хлопьев заканчивается в основном до фильтров; хлопья осаждаются равномерно, и в отстойниках достигается более полное осветление воды. Применение смешанного коагулянта позволяет существенно уменьшить расход реагентов.

При использовании смешанного коагулянта его компоненты можно вводить как отдельно, так и предварительно смешав растворы. Первый метод допускает большую гибкость при переходе от одного оптимального соотношения реагентов к другому. При втором методе проще осуществлять дозирование.

3.4.2. Технологическая характеристика и свойства флокулянтов

Флокулянтами в технологии химической очистки воды называют вещества, интенсифицирующие процесс коагуляции гидроксидов алюминия или железа (III). Они принадлежат к классу линейных полимеров, для которых характерна цепочечная форма макромолекул. Молекулярная масса флокулянтов находится в пределах от десятков тысяч до нескольких миллионов; длина цепочки, состоящей из ряда повторяющихся звеньев, составляет сотни нанометров.

Процесс флокуляции отличается от электролитической коагуляции образованием полимерных мостиков между коллоидными частицами.

В качестве флокулянтов используют высокомолекулярные вещества, хорошо растворимые в воде. По современным представлениям водные растворы флокулянтов являются *истинными растворами*, т. е. гомогенными однофазными термодинамически устойчивыми системами.

Высокомолекулярные флокулянты обычно делят на *органические* (природные и синтетические) и *неорганические*. В качестве флокулянтов из природных веществ используют крахмал, водорослевую крупку, белковые гидролизные дрожжи, картофельную мезгу, жмыхи и др. Из синтетических флокулянтов применяют, прежде всего, органический полимер полиакриламид (ПАА). Организовано также производство флокулянтов катионного типа (ВА-2, ВА-3), ВА-2Т, ВА-3М, СМА, АКС-1, САА, САВ, серии К (К-4, К-6) и др., которые в отличие от флокулянта ПАА (анионного типа) вызывают образование крупных хлопьев без обработки примесей воды коагулянтами. Среди неорганических флокулянтов наиболее распространен активированный силикат натрия – активная (активированная) кремниевая кислота.

Крахмал представляет собой смесь двух углеводов: линейного полимера амилозы и сильно разветвленного полимера амилопектина. Выделяют крахмал из клубней картофеля, зерен кукурузы, риса и других растений в виде гранул, нерастворимых в холодной воде.

Крахмал относят к флокулянтам ионного типа, имеющим небольшой отрицательный заряд. Флокулирующее действие его усиливают кислотной обработкой. Флокулянты на основе крахмала применяют для обработки питьевой воды в ФРГ, США, Нидерландах, Франции и других странах.

Полиакриламид (ПАА) – белое аморфное, хорошо растворимое в полярных растворителях вещество, содержащее ионогенные группы. ПАА гидролизуются водой, щелочами и кислотами с образо-

ванием акриловой кислоты и ее солей.

ПАА относится к полиэлектролитам, диссоциирующим в воде на высокомолекулярный поливалентный анион и катионы. Механизм действия этого флокулянта основан на адсорбции его молекул на частицах гидроксидов алюминия или железа (III), образующихся при гидролизе солей-коагулянтов. Молекулы ПАА способны образовывать ассоциаты фибриллярного типа – пачки длиной 130 нм. Из-за вытянутой формы молекулы адсорбция происходит в разных местах с несколькими частицами гидроксида (рис. 3.12), в результате чего последние связываются полимерными мостиками в тяжелые, крупные и прочные агрегаты.

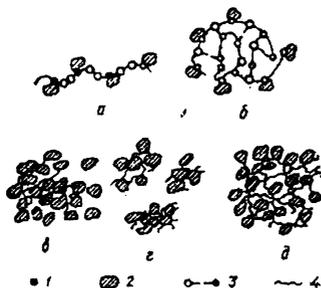
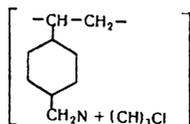


Рис 3.12 Процесс флокуляции взвешенных частиц полиакриламидом:

а, б – адсорбция линейной и глобулярной молекул ПАА на хлопьях коагулянта; в, г – соответственно недостаток и избыток ПАА; д – оптимальное соотношение ПАА и коагулянта; 1 – адсорбирующая группа; 2 – частицы суспензии; 3 – внутримолекулярная связь; 4 – молекулы органического флокулянта

Для очистки питьевой воды применяют два сорта технического ПАА – известковый и аммиачный. Оба сорта ПАА выпускаются в виде прозрачной желто-зеленой желеобразной массы, прилипающей к дереву, тканям, бумаге.

Использование обоих сортов ПАА разрешается при условии, что содержание мономера акриламида, определенное бромид-броматным методом, не превышает 0,2%. Флокулянт представляет собой порошкообразный или 7-15%-й подвижный раствор полиэлектролита: $(5 \div 10) \cdot 10^4$.



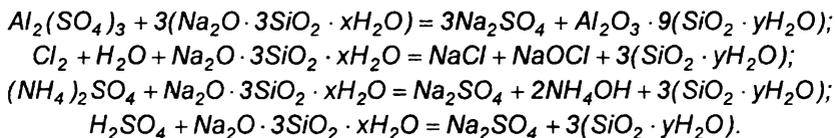
Флокулянт ВА-2 взаимодействует с гумусовыми веществами, образуя нерастворимые в воде агрегаты. Имея положительный заряд, он адсорбируется на отрицательно заряженных коллоидно-дисперсных загрязнениях воды, связывая их в крупные агрегаты. Поэтому хлопьеобразование в случае применения флокулянтов катионного типа происходит без обычных минеральных коагулянтов – сульфата алюминия или хлорида железа (III). Присутствующие в природной воде высокомолекулярные гуминовые кислоты образуют

с флокулянтom BA-2 нерастворимые агрегаты. Фенольные и гидроксильные группы гуминовых кислот, взаимодействуя с основными группами флокулянта, образуют малодиссоциированные соли.

Неорганический флокулянт – **активная кремниевая кислота (АК)** – представляет собой коллоидный водный раствор оксида кремния (IV), получаемого частичной или полной нейтрализацией силиката натрия. Образующиеся молекулы кремниевой кислоты, конденсируясь, выделяются из раствора в виде отрицательно заряженных коллоидных частичек. Механизм взаимодействия АК с $Fe(OH)_3$ и $Al(OH)_3$ объясняется либо взаимной коагуляцией разноименно заряженных частичек, либо воздействием ее на *сверхмицеллярную структуру*, возникающую при обработке воды коагулянтами.

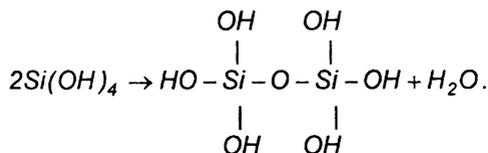
3.4.3. Получение активной кремнекислоты

АК готовят на месте применения непосредственно перед использованием. Сырьем служат силикат натрия (растворимое стекло) и активатор. В качестве последнего применяют: сульфаты алюминия или аммония, хлор, серную кислоту и др.



Процесс активации силиката натрия заключается в его разложении, нейтрализации щелочности и получении свободной кремниевой кислоты или ее малорастворимых солей.

Получаемая H_2SiO_3 гидролизуетсЯ с образованием $Si(OH)_4$, который в свою очередь, постепенно дегидратируясь, полимеризуется с образованием силоксановых связей:



На эффективность флокулирующего действия АК сильно влияют концентрация силиката натрия, степень нейтрализации, продолжительность вызревания и время хранения полученных растворов.

Наиболее перспективным способом приготовления АК на водоочистных станциях является обработка растворов жидкого стекла хлором и сульфатом алюминия, т. е. реагентами, применяемыми при очистке воды.

Применение хлора для активации жидкого стекла предпочтительнее, так как при активации последнего сульфатом алюминия введение даже небольшого избытка сульфата приводит к резкому снижению рН и быстрому застудневанию золя (рис. 3.13, кривая 1).

Передозирование же хлора, даже на 50%, вызывает небольшое изменение рН золя (рис. 3.13, кривая 2). Скорость застудневания при этом изменяется не так резко. Продолжительность вызревания золя АК зависит от рН среды (рис. 3.14).

Золи АК, обладающие наиболее высокими флокулирующими свойствами, могут быть получены при соблюдении таких условий: концентрация раствора силиката натрия (в пересчете на SiO_2) 0,5–3,5%; мольное отношение $Cl_2 : Na_2O = 0,7 : 1,5$; время вызревания t 80–50% времени гелеобразования T (при $Cl_2 : Na_2O = 0,7 : 1,0$ и 50–20% (при $Cl_2 : Na_2O = 1 : 1,5$); жесткость воды для разбавления не более 4 мг-экв/л (рис. 3.15).

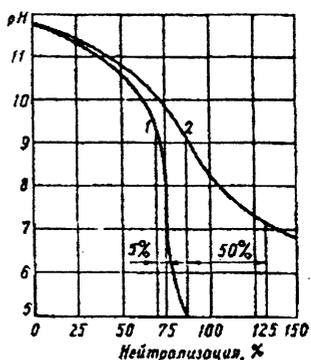


Рис 3.13. Зависимость величины рН золей от степени нейтрализации:

1 — сульфат алюминия; 2 — хлор.

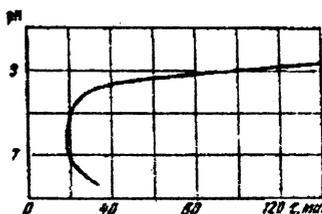


Рис 3.14. Продолжительность вызревания золя АК

3.4.4. Влияние флокулянтов на технологический процесс водоподготовки

Использование флокулянтов на станциях обработки воды позволяет ускорить в камерах хлопьеобразования и отстойниках формирование хлопьев и их осаждение, улучшить эффект осветления воды и увеличить скорость ее движения в очистных сооружениях. В осветлителях со взвешенным осадком они способствуют увеличению концентрации частичек во взвешенном слое и уменьшению выноса из него взвешенных веществ при одновременном повышении скорости восходящего потока воды. На фильтрах и контактных осветлителях применение флокулянтов способствует удлинению времени защитного действия загрузки, улучшению качества фильтрата, повышению скорости фильтрования и относительному сокращению расхода промывной воды.

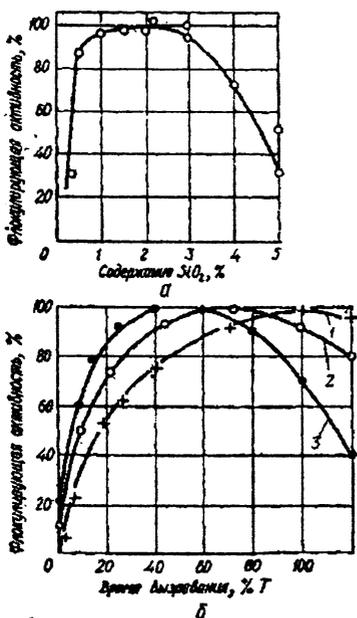


Рис 3.15. Влияние активной кремнекислоты на флокулирующие свойства:

а – концентрация раствора по SiO₂; б – время вызревания (1 – $Cl_2/Na_2O = 0,90$; 2 – 1,00; 3 – 1,40).

хранять требуемую производительность сооружений. Флокулянты могут также значительно улучшить качество очищенной воды, если эксплуатируемые технологические сооружения по типу или расчетным параметрам не соответствуют загрязняющим воду примесям. В ряде случаев применение флокулянтов позволяет увеличить производительность действующих станций в 1,5 раза.

3.4.5. Оптимальные условия и интенсификация процесса коагуляции

Оптимальные условия коагуляции примесей воды зависят от многих факторов: *активной реакции (рН) воды, дозы коагулянта и флокулянта, температуры, величины щелочности воды, быстроты смешения коагулянта с водой и условий образования хлопьев, содержания естественных примесей в обрабатываемой воде и др.*

Образующиеся в процессе гидролиза коагулянтов гидроксиды алюминия и железа (II) характеризуются очень малой растворимостью. Оценивать влияние находящихся в растворе ионов на процесс осаждения гидроксидов для малорастворимых веществ можно по *произведению растворимости (ПР)*. При постоянной температуре

Добавление небольших доз флокулянтов перед отстаивателями или осветлителями интенсифицирует и улучшает работу как этих сооружений, так и фильтров. Для улучшения процесса фильтрования флокулянты добавляют непосредственно перед поступлением воды на фильтры или контактные осветлители. Применение флокулянтов на действующих станциях обработки воды позволяет увеличивать производительность отдельных сооружений и станции в целом. В период паводков, низкой температуры воды и др., когда технологические сооружения обеспечивают получение воды стандартного качества лишь при пониженной производительности, использова-

величина PP не меняется. Для гидроксидов алюминия и железа (III) PP соответственно равны:

$$PP_{Al(OH)_3} = [Al^{3+}][OH^-]^3 = 2,0 \cdot 10^{-32} (18^\circ C) \text{ и } 1,9 \cdot 10^{-33} (25^\circ C)$$

$$PP_{Fe(OH)_3} = [Fe^{3+}][OH^-]^3 = 3,2 \cdot 10^{-38} (18^\circ C) \text{ и } 3,8 \cdot 10^{-38} (25^\circ C)$$

Растворимость малорастворимых соединений S можно определить по формуле

$$S = [Me^{3+}] = \sqrt[4]{PP_{Me(OH)_3} / 27}.$$

Произведя расчеты, найдем, что при $25^\circ C$ S для гидроксида алюминия составляет $2,9 \cdot 10^{-9}$ моль/дм³ ($0,23 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³), для гидроксида железа (III) – $2,0 \cdot 10^{-10}$ моль/дм³ ($0,21 \cdot 10^{-4}$ мг/дм³).

Влияние активной реакции воды (рН)

Состав сульфата алюминия, в зависимости от рН среды, значительно изменяется. Соотношения различных соединений алюминия в осадке приведены на рис. 3.16, а. Из графика видно, что при рН=7,5 наряду с гидроксидом алюминия присутствуют и его основные соли, также отличающиеся малой растворимостью.

Если содержание соединений алюминия в воде после отстаивания и фильтрования превышает растворимость его соединений, образующихся при данных значениях рН, происходит ее пересыщение, и в трубах возможно появление отложений. При различных значениях рН содержание ионов алюминия и железа (III) в растворе определяется по формуле:

$$[Me^{3+}] = \lg PP_{Me(OH)_3} / 10^{-3pH}.$$

Растворимость гидроксида алюминия уменьшается при повышении температуры и понижении рН воды (рис. 3.16, б). При рН<4,5 гидролиз сульфата алюминия не заканчивается образованием гидроксида, поскольку образуются растворимые основные соли (рис. 3.16, в). При рН>8,5, амфотерный гидроксид алюминия растворяется вследствие образования алюминатов.

Зона оптимальных значений рН значительно расширяется в сторону низких доз $Al(OH)_3$ при увеличении содержания сульфат-ионов (рис. 3.16, г). Осветление и обесцвечивание вод разного состава сульфатом алюминия достигается при таких значениях рН: для мягких вод с цветностью более 50 град., и щелочностью до 1,5 мг-экв/дм³ – 5÷6; для вод с цветностью до 40 град., жесткостью 5 мг-экв/дм³ и щелочностью 3–4 мг-экв/дм³ – 6÷7,2; для малоцветных вод жесткостью 6–8 мг-экв/дм³, минерализацией 800–1000 мг/дм³ и щелочностью более 5 мг-экв/дм³ – 6,5÷7,5.

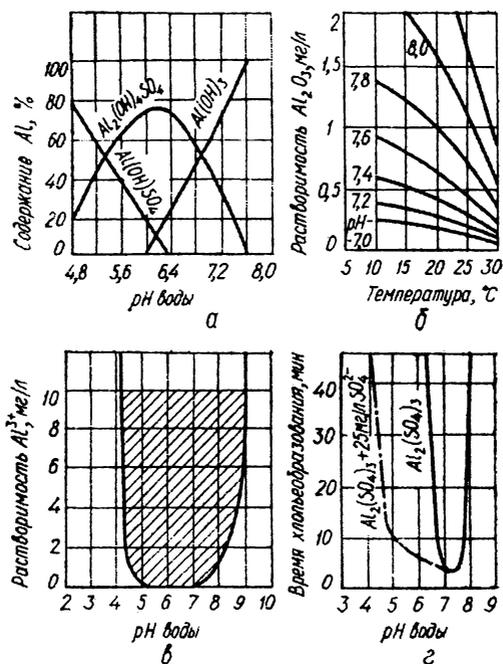


Рис 3.16. Свойства коагулянтов, образующихся при добавлении в воду $Al_2(SO_4)_3$ при различных значениях pH среды:

а – состав выделяющихся осадков; б – растворимость осадков в зависимости от температуры и pH сред; в – область существования осадков; г – влияние содержания сульфатных ионов на коагуляцию.

Соединения железа (III) при гидролизе выделяют осадок гидроксида железа (III) в более широком диапазоне pH, чем соединения алюминия; образующийся гидроксид железа (III) не обладает амфотерными свойствами. Гидроксид железа (II) выделяется в осадок лишь при $pH > 8$.

Агрегативная устойчивость диспергированных, взвешенных и коллоидных частичек тем меньше, чем меньше разница между pH обрабатываемой воды и pH изоэлектрического состояния дисперсной фазы.

Влияние дозы коагулянта

С увеличением дозы гидролизующейся соли скорость хлопьеобразования и осаждения гидроксидов алюминия и железа (III) возрастает.

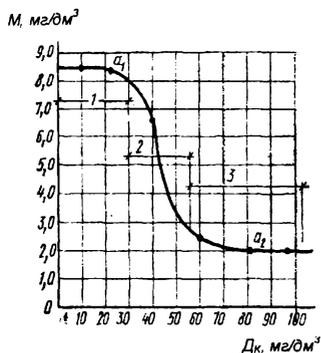


Рис. 3.17. Коагуляционная кривая

В третьей зоне увеличение дозы коагулянта не дает заметного улучшения эффекта осветления. Кривая практически параллельна оси абсцисс. Граница между второй и третьей зонами носит название *оптимальной дозы*. Хотя единой коагуляционной кривой для всех загрязнений воды не существует, однако ее характерные участки (порог коагуляции, оптимальная доза, размеры зон) идентичны и зависят от качества и свойств исходной воды.

Изменение оптимальной дозы коагулянта при снижении температуры обрабатываемой воды, содержащей 300 мг/дм³ глинистой взвеси, показано на рис. 3.18. Дозу коагулянта для достижения одинакового эффекта очистки при этом требуется увеличить почти в 2 раза.

Влияние температуры воды

При низких температурах в зимнее время очистка воды сульфатом алюминия протекает неудовлетворительно: процессы хлопьеобразования и осаждения замедляются, хлопья образуются очень мелкие, в очищенной воде появляются заметные количества остаточного алюминия (вода опалесцирует).

Это объясняется изменением вязкости воды. Согласно литературным данным, вязкость воды при 1°C примерно в 2 раза больше, чем при 30°C. Во столько же раз замедляется и скорость осаждения взвешенных в ней частиц, так как по закону Стокса эти величины обратно пропорциональны друг другу. Некоторые авторы объясняют это замедлением самого процесса хлопьеобразования (ко-

Это подтверждает приведенная Г.И. Николадзе коагуляционная кривая, представленная на рис. 3.17. Ее можно разбить на три зоны. В первой зоне при малых дозах коагулянта эффект осветления воды отстаиванием и фильтрованием незначителен. Во второй зоне увеличение дозы коагулянта резко сказывается на эффекте осветления воды. Граница между первой и второй зонами носит название *по-*

по-
ро-

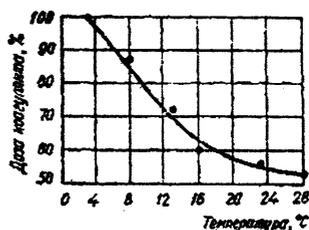
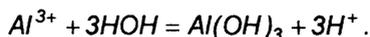


Рис. 3.18. Зависимость оптимальной дозы коагулянта от температуры при очистке воды от глинистой взвеси

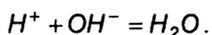
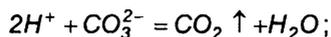
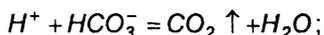
гуляции), другие – замедлением скорости гидролиза сульфата алюминия и реакции его с гидрокарбонатами природных вод.

Влияние щелочности воды на процесс коагуляции

Эффективное протекание процесса коагуляции обеспечивается достаточной щелочностью (щелочным резервом в виде HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- и др. ионов обрабатываемой воды). В процессе гидролиза коагулянтов в воде появляется избыток катионов водорода, которые понижают щелочность и величину pH воды, выводят образовавшиеся гидроксиды изoeлектрического состояния, ухудшая тем самым условия коагуляции или вообще прекращая процесс гидролиза коагулянта. Примером может служить гидролиз сульфата алюминия:



Катионы водорода взаимодействуют со щелочными анионами HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- .



Щелочность воды снижается. Критерием достаточности естественной щелочности воды при $\text{pH} < 8,4$ может служить следующее выражение:

$$\Delta\text{Щ} = \frac{\text{Щ}_0(10^{\Delta\text{pH}} - 1)}{1 + K_1 \cdot 10^{\text{pH}_0 + \Delta\text{pH} + \mu^{0,5}}},$$

где $\Delta\text{Щ}$ – доза щелочи (при подщелачивании) или кислоты (при подкислении), мг/дм³; Щ_0 – щелочность обрабатываемой воды, мг/дм³; pH_0 – pH обрабатываемой воды; ΔpH – величина, на которую нужно изменить pH воды (при подщелачивании pH величина положительная, а при подкислении – отрицательная); K_1 – константа первой степени диссоциации H_2CO_3 ; μ – ионная сила раствора.

Влияние перемешивания воды

Подвижность коллоидных частиц в процессе коагуляции возрастает при перемешивании растворов. Так, при 20°C процесс коагуляции в результате перемешивания ускоряется примерно в 2 раза, поскольку при этом происходят *перикинетическая* и *ортокинетическая** коагуляции.

Ускорение процесса коагуляции и укрупнение хлопьев при низ-

* *Перикинетической* называется коагуляция, протекающая при броуновском движении частичек, *ортокинетической* – протекающая при искусственном перемешивании.

ких температурах воды может быть достигнуто *удлинением времени перемешивания*. Движущийся поток жидкости влияет на процесс лишь тогда, когда частички уже достигли определенного размера в результате перикинетической и ортокинетической коагуляции.

Если быстрое протекание коагуляции не может быть полностью восстановлено при низких температурах перемешиванием, то это свидетельствует о том, что в данном случае агрегаты частичек гидроксида не могут достичь размеров, при которых может появиться ортокинетическая коагуляция в результате действия потока.

Предварительная обработка воды окислителями

Эффективность коагуляции возрастает, так как хлор и другие окислители разрушают гидрофильные органические соединения, стабилизирующие дисперсные примеси воды, и облегчают условия протекания коагуляции. Особенно эффективно применять окислители для обработки цветных вод. При этом ускоряется осветление воды и возрастает гидравлическая крупность хлопьев скоагулированной взвеси.

Введение замутнителей

Этим приемом может быть достигнуто на 30-80% сокращение длительности коагуляции и снижение оптимальной дозы коагулянта. Замутнители являются как бы центрами коагуляции, к которым прилипают в виде цепочек хлопья гидроксидов металлов. При этом образуются более крупные и плотные хлопья, быстро выпадающие в осадок или легко задерживаемые загрузкой фильтров.

При искусственном замутнении воды существенную роль играет степень дисперсности вводимых частичек. Особенно ускоряется процесс коагуляции, если размер добавляемых частичек не превышает 3мкм. В этом случае удается ускорить процесс хлопьеобразования на 30-50%. Предлагается вводить в воду взвесь или коллоидные вещества, например, 10мг/дм³ высокодисперсной глинистой взвеси или 2-5мг/дм³ порошкообразного активированного угля. В зарубежной практике широко применяется так называемый черный коагулянт – смесь порошкообразного угля с коагулянтом.

Использование промывной воды фильтров и осадка отстойников ускоряет процессы формирования и осаждения хлопьев.

Рекомендуется сначала вводить промывную воду в количестве 5–25% исходной воды, затем коагулянт.

Потеря устойчивости зольей $Al(OH)_3$ или $Fe(OH)_3$ объясняется тем, что вводимые осадки поглощают из адсорбционного слоя мицеллы ионы, придающие коллоидным частичкам устойчивость. Кроме того, осадки, вводимые в качестве затравок, являются своеобразными центрами агрегации. Большую роль в этом процессе играет ортокинетическая коагуляция.

Использование промывной воды и осадка отстойников в каче-

стве добавки к неочищенной воде, а также к воде, обработанной различными дозами коагулянта, позволяет улучшить качество очищаемой воды, значительно снизить расход коагулянта и ускорить осаждение скоагулированной взвеси в отстойниках и осветлителях.

Введение шлам позволяет сэкономить 25-30% коагулянта. Эффективное влияние шлама объясняется тем, что при низких температурах он представляет собой уже готовые крупные частички такого же строения, что и выделяющийся гидроксид. Таким образом, время, необходимое для формирования сверхмицеллярных агрегатов, сокращается. При этом ускоряется процесс хлопьеобразования, возрастают размеры хлопьев, быстрее идет их осаждение, а следовательно, интенсивнее осветляется вода.

Использование смеси коагулянтов

Действие коагулянтов при этом обоюдно усиливается. Такое явление происходит, например, при использовании смеси $Al_2(SO_4)_3$ и $FeCl_3$ в соотношении 1:1; 1:2; 2:1 или этих же коагулянтов совместно с Na_2SiO_3 . Аналогичный эффект улучшения коагуляции достигается обработкой воды смесью неочищенного и очищенного глинозема в соотношении 3:1 или смесью коагулянтов глинозема и хлорида железа (III) в соотношениях 3:1 или 4:1.

Вместо сернокислого глинозема для обработки воды рекомендуется использовать оксихлорид алюминия. Опыт применения этого коагулянта показал хорошие результаты на ряде водоочистных станций.

Обработка воды предварительно выделенными гидроксидами

Улучшить коагуляцию можно также обработкой воды сульфатом алюминия или хлоридом железа (III) с *предварительным выделением их гидроксидов*. Сущность этого процесса состоит в том, что расчетные дозы сернокислого глинозема и известкового молока вводят в промежуточный реактор, в который подают 1% обрабатываемой воды. В реакторе образуются мелкие хлопья гидроксидов основных солей алюминия, обладающие высокой сорбционной способностью и хорошо агломерирующиеся в крупные хлопья. Затем из реактора эту суспензию подают в поток воды, поступающей на станцию очистки.

Обработка растворов коагулянта концентрированной кислотой

Эффективность коагуляции примесей и диапазон действия доз коагулянта $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$ можно значительно расширить *добавлением* в его растворы *концентрированной* H_2SO_4 . Подкисление коагулянта позволяет либо повысить качество очистки окрашенных

вод (цветность снижается в 7-8 раз, мутность – в 2-2,5 раза, остаточное содержание железа – в 5-6 раз), либо уменьшить расход коагулянта при сохранении качества очищаемой воды.

Раствор коагулянта следует подкислять таким образом, чтобы pH обработанной воды был не ниже 6,5-6,0, поскольку дальнейшее подкисление раствора приводит к увеличению содержания Fe^{3+} в воде.

Подкисление раствора коагулянта имеет преимущество перед подкислением воды: исключается необходимость отдельного дозирования кислоты и коагулянта, сокращается объем реагентного хозяйства.

Применение концентрированного коагулирования

Процесс коагуляции можно ускорить, применяя метод *концентрированного коагулирования*, при котором требуемое количество коагулянта подают лишь в часть обрабатываемой воды. После тщательного смешения с раствором коагулянта поток обработанной воды объединяют (обычно в начале камер хлопьеобразования) с потоком остальной необработанной воды. Этот метод обладает некоторыми преимуществами: а) распределение всего коагулянта только в части воды создает условия для ускоренного хлопьеобразования; б) после смешения с необработанной водой хлопья, сформировавшиеся в условиях повышенной концентрации коагулянта, хорошо удаляют примеси воды.

Метод не всегда дает положительные результаты, что объясняется изменением свойств обрабатываемой воды и загрязнений.

К *физическим* (безэлектролитным) методам интенсификации процесса коагуляции относится *воздействие электрического и магнитного полей, ультразвука и ионизирующего излучения*.

Воздействие электрическим полем

Под воздействием *электрического поля* ускоряются процессы формирования и осаждения скоагулированной взвеси, получаемой при обработке мутных вод сульфатом алюминия; повышается степень очистки воды от органических и неорганических примесей фильтрованием; улучшается отделение водорослей.

Воздействие магнитного поля приводит к уменьшению структурно-механической гидратации и ξ -потенциала частичек. Сорбционная емкость продуктов гидролиза коагулянтов по отношению к гуминовым веществам возрастает на 30-40%. При очистке вод, содержащих минеральные взвеси, магнитная обработка: а) вызывает увеличение плотности и гидравлической крупности хлопьев скоагулированной взвеси; б) позволяет повысить производительность отстойников и осветлителей со взвешенным осадком; в) приводит к некоторому снижению мутности осветленной воды.

Омагничивание цветной и железосодержащей воды позволяет увеличить объемную массу скоагулированной взвеси и снизить в 2–10 раз остаточные концентрации примесей.

Для интенсификации процесса коагуляции рекомендуется омагничивать воду за 10-60 с до ввода раствора коагулянта, скорость воды в рабочем зазоре магнитного генератора поддерживать 1м/с, количество знакопеременных магнитных контуров в генераторе должно составлять 4-6, длительность омагничивания – 0,6-1 с. Возможно омагничивание лишь части (например, половины) обрабатываемой воды с последующим смешением ее (до ввода коагулянта) с остальной водой.

Интенсифицировать коагуляцию можно магнитной обработкой раствора коагулянта. Эффект активации раствора зависит от напряженности магнитного поля.

Расход электроэнергии при магнитной обработке воды составляет 5-8 Вт·ч на 1 м³/ч производительности водоочистой установки.

Коагулирование под током

По этому методу воду с добавленными к ней небольшими дозами сульфата алюминия пропускают между алюминиевыми электродами, подключенными к источнику постоянного или переменного тока. В этом случае сохраняется преимущество метода электролитического коагулирования, а расход электроэнергии не превышает 10 Вт/м³ воды.

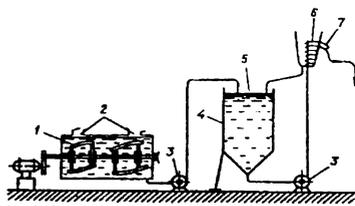
Обработка воды ультразвуком способствует коагуляции примесей воды, однако разрушение механических примесей, уменьшающее степень полидисперсности суспензии, может сказаться отрицательно. Исследования по ультразвуковой коагуляции показывают, это наилучшие результаты получают при относительно низких частотах ультразвука – 8-18 кГц. С увеличением интенсивности ультразвука возрастает скорость коагуляции; оптимальная продолжительность озвучивания составляет 1-3 мин.

Использование ионизирующего излучения

Действие *ионизирующих γ -, β - и рентгеновских лучей* преимущественно сводится к интенсификации окисления органических и минеральных примесей растворенным в воде кислородом, в результате чего вода обесцвечивается, обеззараживается, дезодорируется, ускоряется осаждение взвешенных примесей. Все перечисленные процессы облегчают обработку воды гидролизующимися коагулянтами, расширяют сферу их применения. В качестве источников излучения чаще всего используют ⁶⁰Co и ¹³⁷Cs, реже ⁹⁰Sr, ²⁰⁴Tl, ¹⁴⁷Pm, ¹⁵²Eu и др.

Облучение не вызывает ядерных превращений в растворах коагулянтов и в среде и, следовательно, безопасно.

Глава 4. РЕАГЕНТНОЕ ХОЗЯЙСТВО



4.1 ПРОГНОЗ РАСХОДА КОАГУЛЯНТА

Запас реагентов для станций водоподготовки рассчитывается исходя из расхода прошедшего года с учетом средних показателей за несколько лет. Однако такой способ расчета приводит к значительным расхождениям между фактической и плановой потребностью в реагентах. Это связано в большинстве случаев с сезонными и годовыми колебаниями качества воды в источниках водоснабжения.

Резкие колебания в расходе реагентов приводят к большому изменению затрат на их приобретение, в то время как затраты на электроэнергию, амортизацию, заработную плату, цеховые и общеэксплуатационные расходы в расчете на единицу, очищаемой воды меняются, незначительно. В отдельные периоды года коагулянт накапливается и слеживается в монолитную массу, для использования которой требуется дробление. В другие периоды, наоборот, его расход возрастает в 1,5-2 раза по сравнению с этим же периодом прошлого года, и на водопроводной станции испытывается недостаток в коагулянте.

Эти затруднения возникают в основном потому, что на станциях водоподготовки нет возможности предвидеть качество исходной воды, а оптимальная доза реагента, необходимая для доведения ее качества до требований стандарта, определяется технологическим анализом на месте забора воды из источника.

Анализом большого числа эксплуатационных материалов Г.Г. Руденко и И.Т. Горонковский установили, что затруднения в планировании расхода реагентов могут быть устранены. Для этого на каждой станции водоподготовки должно быть установлено влияние наиболее важных технологических показателей качества обрабатываемой воды на дозу применяемых реагентов. Качественные показатели исходной воды, используемые как переменные, в свою очередь должны быть увязаны с природными условиями конкретного источника воды.

Поскольку кинетика процесса осветления и обесцвечивания воды коагулированием и хлорированием и дозы применяемых реагентов в большой мере зависят от физико-химических, микробиологических, гидродинамических и технологических факторов (цветности и мутности исходной воды, ее ионного состава, значения pH, температуры, наличия в ней фито- и зоопланктона, бактерий и вирусов, перемешивания, места и последовательности ввода реагентов, их коагулирующей способности, состава и особенностей очистных сооружений и т. д.), выразить их взаимовлияние обычными функциональными зависимостями не всегда возможно. Поэтому для обработки экспериментальных данных можно использовать методы математической статистики с применением ЭВМ.

Так, например, 12-летний опыт эксплуатации Днепровской станции водоподготовки г. Киева свидетельствует о том, что из перечисленных факторов на процесс коагуляции примесей воды больше всего влияют ее цветность, щелочность, температура и применяемая доза хлора. С помощью электронно-вычислительных машин для днепровской воды найдены коэффициенты линейного уравнения множественной регрессии, позволяющие определить оптимальную дозу очищенного сульфата алюминия D_K , дм^3 (в пересчете на Al_2O_3) – по уравнению

$$D_K = 0,9Ц + 13,6Щ - 0,4t + 0,9Cl + 4,$$

где $Ц$ – устраняемая цветность воды, град.; $Щ$ – щелочность воды, ммоль/ дм^3 ; t – температура воды, °С; Cl – доза хлора, мг/ дм^3 .

Аналогичные линейные зависимости выведены для воды р. Москвы, имеющей повышенную мутность.

В период весеннего паводка

$$D_K = 20,62 + 0,004M - 0,59Щ + 0,0007t - 1,76pH;$$

в период осеннего паводка

$$D_K = 7,62 + 0,04M - 1,09Щ,$$

где M – мутность воды, мг/ дм^3 .

Благодаря многолетним наблюдениям для днепровской воды также установлена зависимость изменения цветности и экспоненциальная зависимость ее щелочности от расхода воды в реке, что позволяет по долгосрочному прогнозу Гидрометеослужбы рассчитать потребность в коагулянте и хлоре для ее обработки. Приведенные зависимости показывают, что кроме цветности и мутности на расход коагулянта значительно влияет щелочность воды: доза коагулянта возрастает при обработке цветных вод с повышенной щелочностью и, наоборот, снижается при обработке мутных вод. Поэтому целесообразно обесцвечивать подкисленную, а осветлять – подщелоченную воду.

4.2. РАСЧЕТНЫЕ ДОЗЫ РЕАГЕНТОВ

Расчетные дозы реагентов устанавливаются на основании данных, получаемых в результате пробной обработки воды в лабораторных условиях, или по данным эксплуатации действующих сооружений, работающих в аналогичных условиях. При этом учитывают допустимое остаточное количество реагентов, предусмотренное СанПиН 10-124 РБ 99.

Пробное коагулирование примесей воды производят в стеклянных цилиндрах, в которые наливают по 500 мл исследуемой воды и вводят от 20 до 200 мг/дм³ коагулянта с интервалом концентраций в 20 мг/дм³. В результате пробного коагулирования устанавливают оптимальную дозу коагулянта (доза коагулянта, дающая крупные, быстро оседающие хлопья, без опалесценции). После фильтрования цветность и мутность воды должны удовлетворять требованиям СанПиНа.

Суточный расход (дозу) реагента D_c определяют по формуле

$$D_c = \frac{QD_p}{10000P},$$

где Q – количество обрабатываемой воды, м³/сут; D_p – доза реагента в расчете на его активную часть (устанавливают пробной обработкой воды реагентом), мг/дм³; P – содержание активного реагента в товарном продукте, %.

Расчет растворных баков, дозаторов, конвейеров, трубопроводов растворов (кроме трубопроводов известкового молока) и складов реагентов производят на максимальные дозы реагентов.

Приведенные в СНиП 2.04.02-84 дозы реагентов, определяемые на основе данных химического анализа воды, являются ориентировочными и подлежат уточнению технологическими анализами (пробным коагулированным, углеванием, хлорированием и т. д.).

Для проектируемых станций осветления и обесцвечивания воды дозы коагулянта в пересчете на безводный сульфат алюминия, хлорид и сульфат железа (III) при обработке мутных вод определяют по табл. 4.1, при обработке цветных вод рассчитывают по формуле

$$D_k = 4\sqrt{C},$$

где C – цветность обрабатываемой воды, град. (меньшие дозы относятся к воде, содержащей низкодисперсную взвесь; если в воде одновременно содержатся окрашенные и взвешенные вещества, принимается большая из доз, вычисленная по мутности или цветности).

Таблица 4.1. Расчётные дозы коагулянта для осветления мутных вод

Мутность воды, мг/дм ³	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/дм ³	
	с высокодисперсной взвесью ($u_0 < 0,05$ мм/с)	с низкодисперсной взвесью
До 100	35	25
101 – 200	40	30
201 – 400	45	35
401 – 600	50	45
601 – 800	60	50
801 – 1000	70	60
1001 – 1500	80	70

Если применяются контактные осветлители или фильтры, работающие по принципу коагуляции в толще фильтрующей загрузки, дозу коагулянта D_K следует уменьшать на 10-15% по сравнению с приведенной в табл. 4.1 и рассчитанной по формуле.

При расчете доз реагентов, необходимых для подщелачивания воды при ее коагуляции, исходят из необходимого повышения щелочности воды. Дозы подщелачивающих реагентов $D_{Щ}$ вычисляются по формуле

$$D_{Щ} = \left(\frac{D_K}{e} - Щ_0 + 1 \right) K,$$

где e – эквивалентная масса безводного коагулянта, ммоль/дм³, равная для $Al(SO_4)_3$ – 57; $FeCl_3$ – 54, $Fe_2(SO_4)_3$ – 67; $D_{Щ}$ – доза подщелачивающих реагентов (извести в пересчете на CaO , соды в пересчете на Na_2CO_3 , едкого натра в пересчете на $NaOH$), мг/дм³; $Щ_0$ – щелочность природной воды, ммоль/дм³; 1 – избыточная щелочность воды, необходимая для нормального протекания процесса коагуляции; K – коэффициент (для извести равен 28, для гидроксида натрия – 40, для соды – 53).

Если значение $D_{Щ}$ получается отрицательным, то подщелачивать воду не нужно.

Для интенсификации процесса коагуляции рекомендуется применять в качестве флокулянтов (в дополнение к коагулянтам) полиакриламид (ПАА) и активную кремниевую кислоту (АК). Дозы их зависят от места ввода, типа и режима работы сооружений, физико-химических свойств обрабатываемой воды. Для ориентировочных расчетов дозу ПАА при введении его перед отстойниками и осветлителями для укрупнения хлопьев скоагулированных взвешенных веществ принимают 0,2-1,5 мг/дм³ по безводному продукту; при введении ПАА перед фильтрами в двухступенчатой схеме очистки воды для укрупнения хлопьев взвеси – 0,05-0,1 мг/дм³; при введении пе-

ред контактными осветлителями или фильтрами в одноступенчатой схеме очистки – 0,2-0,6 мг/дм³. Дозу АК (в пересчете на SiO₂) при введении в воду с цветностью до 100 град. и с содержанием взвешенных веществ до 50 мг/дм³ перед отстойниками или осветлителями при температуре выше 5-7°С принимают 2-3 мг/дм³; при температуре ниже 5-7°С – 3-5 мг/дм³; при введении в воду перед фильтрами в двухступенчатой схеме очистки – 0,2-0,5 мг/дм³; при введении перед контактными осветлителями или фильтрами в одноступенчатой схеме очистки – 1-3 мг/дм³.

Дозы хлорсодержащих реагентов (по активному хлору) для предварительного хлорирования, а также для улучшения коагуляции, обесцвечивания и обеззараживания принимают равными 10 мг/дм³.

При наличии в обрабатываемой воде следов фенолов во избежание появления при ее хлорировании хлорфенольных запахов и привкусов для обеззараживания воды вместо хлора следует применять озон (1-3 мг/дм³ для фильтрованной воды поверхностных источников и 0,75-1 мг/дм³ для воды подземных источников). Если фенолы в воде источника водоснабжения появляются эпизодически или озон по каким-либо причинам применить нельзя, воду следует обеззараживать хлором после предварительной аммонизации.

При хлорировании с аммонизацией аммиак или аммонийные соли вводят в количестве 20-25% (в пересчете на NH₃) дозы хлора, чтобы в воде, забираемой из резервуаров чистой воды, через час после введения хлора содержалось 0,8-1,2 мг/дм³ аммиака, связанного в хлорамины.

Запахи и привкусы устраняют также порошкообразным высокодисперсным активированным углем, дозу которого (в пересчете на уголь марки «А-щелочной») принимают в зависимости от степени загрязнения воды (3 балла – до 20; 4 балла – 30-40; 5 баллов – 50-80 мг/дм³), или перманганатом калия. При перманганатной окисляемости воды от 8 до 10 мг/дм³ O₂ дозу активированного угля принимают равной 1-3; от 10 до 15 мг/дм³ O₂ – 3-5; от 15 до мг/дм³ O₂ – 5-10 мг/дм³.

Если порошкообразным активированным углем или перманганатом калия приходится обрабатывать сильно загрязненную воду, то их берут в большем количестве.

4.3. СКЛАДЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕАГЕНТОВ

4.3.1. Расчет склада

Для хранения реагентов устраивают склады. Их рассчитывают на 15-30-суточный запас реагентов исходя из периода максимально-

го их расхода с учетом условий доставки. Если коагулянт на водоочистную станцию доставляют железнодорожным транспортом, то целесообразно, чтобы вместимость складов равнялась кратному объему большегрузного вагона при 10-суточном запасе реагента к моменту загрузки.

Сроки поставки реагентов необходимо увязывать с режимом их расходования; загруженность складских помещений не должна превышать их проектной вместимости.

ЦНИИЭП инженерного оборудования (Россия) рекомендует принимать объем разовой поставки коагулянтов на станцию водоподготовки в зависимости от ее производительности. При производительности 12,5 тыс.м³/сут – 60 т (один вагон); при 20-50 тыс.м³/сут – 120 т; при 70-100 тыс.м³/сут – 180 т; при 140-201 тыс.м³/сут – 240 т.

При наличии центральных (базисных) складов объем складов на станциях очистки и подготовки воды допускается рассчитывать на срок хранения реагентов не менее 7 сут.

Площадь склада $F_{СК}$ для хранения коагулянта определяют по формуле

$$F_{СК} = \frac{Q_C D_K T \alpha}{10000 \rho G_0 h_K},$$

где Q_C – полная производительность очистной станции, м³/сут; D_K – расчетная доза коагулянта по максимальной потребности, г/м³; T – продолжительность хранения коагулянта на складе, сут; α – коэффициент учета дополнительной площади проходов на складе ($\alpha = 1,15$); ρ – содержание безводного продукта в коагулянте, %; G_0 – объемная масса коагулянта при загрузке склада, т/м³; h_K – допустимая высота слоя коагулянта на складе, м.

В зависимости от вида реагентов проектируют склады для хранения реагентов в сухом виде (порошки, гранулы) и в виде концентрированных растворов или продуктов, залитых водой.

4.3.2. Хранение реагентов в сухом виде

Сухие реагенты хранят в закрытых складах, размещаемых обычно на 1 этаже здания реагентного хозяйства, вблизи мест приготовления растворов, и лишь на станциях большой производительности, как исключение, оборудуются отдельные складские помещения для реагентов.

Высоту слоя реагентов в складе принимают: для сульфата алюминия и поваренной соли – 2 м; для негашеной извести – 1,5 м. При наличии соответствующей механизации допускается увеличение высоты слоя сульфата алюминия до 3,5, извести – до 2,5 м. Высота укладки реагентов в таре должна составлять: для железного

купороса в бумажных мешках – 2,0-3,5 м, хлорида железа (III) в барабанах, активированного угля в бумажных мешках, жидкого стекла в бочках, технического перманганата калия в металлических бочках или баках, полиакриламида (геля 6-9%) в бочках, кремнефторида натрия в бочках – 2,5м; кальцинированной соды в бумажных мешках – 2-3,5м, в контейнерах – 2-3м.

4.3.3. Хранение реагентов в жидком виде

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

Хранение реагентов осуществляют в виде раствора и в виде кускового продукта в насыщенном растворе.

Баки-хранилища располагают, как правило, в зданиях. При обосновании допускается размещение баков вне зданий. Трубопроводы, арматура и насосное оборудование располагают в галерее с надземным павильоном. В обоих случаях обеспечивается проход вокруг стен баков, предусматриваются мероприятия, исключающие проникновение раствора в грунт и выполняется противокоррозионная облицовка. Баков-хранилищ должно быть не менее 3, при большем их количестве предусматривается один резервный.

Концентрацию растворов коагулянтов при мокром хранении в баках-хранилищах принимают равной 17-24 % (считая по чистому безводному продукту).

Общий объем растворных баков определяется из расчета 2,2 м³ на 1т товарного продукта для очищенного коагулянта, 2,5 м³ для неочищенного и 1,6 м³ на 1т товарного продукта для баков-хранилищ.

Продолжительность полного цикла приготовления раствора коагулянта (загрузка, растворение, отстаивание, перекачка, очистка поддона) при температуре воды до 10°С следует принимать 10-12 ч. При необходимости сокращения цикла приготовления раствора до 6-8 ч предусматривают использование воды с температурой около 40°С.

4.3.4. Особенности хранения хлора, кислот, фторсодержащих и других реагентов

Следует отметить следующие особенности хранения других реагентов на станциях обработки воды.

Известь можно помещать в одном складе с коагулянтами.

Хлорную известь необходимо хранить в деревянных бочках в отдельном сухом, прохладном, хорошо вентилируемом помещении.

При хранении реагентов для *фторирования* воды должны соблюдаться особые условия, ввиду их токсичности. Так, фторсодержащие реагенты хранят на складе при температуре не ниже 5°C в заводской таре (стальных или фанерных барабанах, деревянных бочках массой нетто 50-150 кг), распечатывать и заполнять порошкообразным реагентом переносную тару, а также затворять реагент водой следует в отдельной комнате, изолированной от помещения фтораторной. Эту комнату необходимо оборудовать приточно-вытяжной вентиляцией с 12-кратным обменом воздуха в течение 1 ч с учетом резервной вентиляции с 6-кратным обменом воздуха в течение 1 ч.

Хорошо вентилируемые склад и фтораторная должны быть надежно изолированы от других помещений; транспортирование фторсодержащих соединений механизировать.

Пакеты и барабаны с *активированным углём* укладывают по маркам и датам поступления; к помещениям для его хранения требование взрывобезопасности не предъявляется, по пожарной опасности его относят к категории «В».

Полиакриламид и жидкое стекло во избежание замораживания и усыхания хранят в крытых помещениях при плюсовой температуре, но не выше 25°C.

Технический 8%-й раствор полиакриламида транспортируют и хранят в бочках, содержащих 100-150 кг продукта.

Для устранения утечек такие бочки должны находиться в вертикальном положении загрузочным люком вверх. При дефектах тары или при необходимости хранения вскрытых бочек продукт следует залить водой. Жидкое стекло хранят в герметически закупоренных деревянных или железных бочках или в цистернах.

Склады для хранения *кислот* должны быть оборудованы на основании санитарных правил проектирования, оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих и ядовитых веществ (СДЯВ) с учетом правил устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Их изолируют друг от друга и остальных складских помещений. Небольшое количество кислот можно хранить в помещениях с хорошей тягой.

Склады для хранения *хлора* и *аммиака* рассчитывают на хранение этих реагентов в бочках. Такие склады должны быть изолированы от других складских помещений и отвечать правилам хранения сжиженных газов. Целесообразно располагать их в самых низких точках. Если суточный расход хлора превышает 1 т, расходный склад хлора должен иметь вместимость не более 100 т, а полностью изолированный отсек из танков заводского изготовления – до 50 т; при этом следует предусмотреть также станцию перелива жид-

кого хлора из железнодорожных цистерн. Оборудование складов и станций перелива хлора необходимо проектировать с учетом требований, изложенных в правилах устройства и безопасности аппаратуры, работающей под давлением, а также указаний по организации хлорирования жидким хлором на коммунальных водопроводах. Длина хлоропроводов для подачи газообразного хлора из расходного склада к месту хлорирования воды не должна превышать 1 км.

Склад для хранения **фильтрующих материалов** и подбор оборудования проектируют из расчета 10% ежегодного пополнения и обмена фильтрующей загрузки и хранения аварийного запаса на перегрузку одного фильтра при общем количестве до 20 и двух- при большем количестве. Для загрузки фильтров рекомендуется использовать водоструйные и песковые насосы.

При отсутствии централизованной поставки фильтрующих материалов (песка, щебня, гравия и др.) на станции водоподготовки следует предусматривать специальный цех и оборудование для их хранения, дробления, сортировки, отмывки и транспортирования на фильтры.

Объем помещения для хранения **ионитовых материалов** рассчитывают на хранение двух загрузок катионитовых фильтров и по одной загрузке фильтров со слабо- и сильноосновным анионитами. Соли целесообразнее хранить в мокром виде.

Объем баков-хранилищ определяют из расчета 1,5 м³ на 1 т реагента.

Если суточный расход продукта менее 0,5 т, допускается сухое хранение.

При проектировании и строительстве складов следует принимать меры по механизации всех процессов. Очень трудоемкой операцией является выгрузка реагентов из железнодорожных вагонов. Для этого применяют механические лопаты, ленточные и пневматические конвейеры.

4.4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ РАСТВОРОВ КОАГУЛЯНТОВ

4.4.1. Расчет растворных и расходных баков

Одним из основных этапов очистки воды коагулированием является подготовка реагентов, которая в большинстве случаев сводится к приготовлению растворов коагулянтов необходимой концентрации. Используемые в водоподготовке реагенты обычно представляют собой твердые вещества (очищенный и неочищенный сульфаты алюминия, хлорид железа (III), известь), которые подаются в воду либо в виде растворов заданной концентрации, либо в виде тщательно измельченного и высушенного порошка. Раствор коагулянта на станциях водоподготовки готовится в растворных

баках, откуда перекачивается в расходные баки или в емкости – хранилища концентрированного раствора. При интенсивной циркуляции воды в растворном баке (перемешивание сжатым воздухом или мешалкой) может быть получен 17-24 %-й раствор коагулянта.

Вместимость баков для приготовления и хранения растворов реагентов определяется в зависимости от расчетного количества воды, подлежащей очистке, принятой дозы, числа растворений в сутки, концентраций реагентов (в случае применения неочищенного коагулянта) и рабочего раствора.

Вместимость растворного бака W_p определяется по формуле

$$W_p = \frac{qTD_k}{10000b_p\gamma},$$

где q – расчетный расход воды, м³/ч; T – продолжительность работы станции, на которую рассчитывается количество раствора коагулянта для одного затворения, ч; D_k – максимальная расчетная доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, мг/дм³; b_p – концентрация раствора к концу растворения, обычно принимается равной 17-24% по безводному продукту; γ – плотность раствора, обычно принимается равной 1 т/м³.

Продолжительность работы станции T производительностью 1 000 м³/сут при круглосуточной работе принимается равной 12-14 ч, а при некруглосуточной работе – числу часов работы станции в сутки; для станций производительностью 10 000 м³/сут и более – 10-12 ч; для станций производительностью более 100 000 м³/сут допускается непрерывная заготовка раствора коагулянта, при этом вместимость бака следует принимать равной трехчасовому расходу раствора.

Количество растворных баков (не < 3) рассчитывают с учетом способа доставки и разгрузки коагулянта, его вида, а также длительности растворения. Интенсифицируют растворение перемешиванием раствора сжатым воздухом, подводимым дырчатыми трубами или мешалками. Интенсивность подачи воздуха для растворения коагулянта в растворных баках принимается равной 8-10 л/(с·м²).

Вместительность расходных баков W определяют по формуле

$$W = \frac{W_p b_p}{b},$$

где b – концентрация раствора коагулянта в расходных баках (принимаемая равной 12% в пересчете на безводный продукт).

Расходных баков на станции должно быть не менее двух.

Интенсивность подачи воздуха для перемешивания коагулянта принимается равной 3-5 л/(с·м²).

4.5. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ ФЛОКУЛЯНТОВ

4.5.1. Приготовление активной кремниевой кислоты

Активная кремниевая кислота (АК) приготавливается непосредственно на месте ее применения из силиката натрия активацией, т.е. полной или частичной нейтрализацией его щелочности.

Для активации силиката натрия применяется аппаратура периодического и непрерывного действия. При потребности в золе АК 3 кг/ч (в пересчете на SiO_2) более экономично и целесообразно использовать установки периодического действия. На рис. 4.1. приведена схема установки периодического действия для получения АК хлорированием раствора жидкого стекла. Установка состоит из железобетонного реагентного бака, хлоратора ЛК-10, циркуляционного насоса и дозаторов рабочего раствора АК. Все узлы соединены между собой винилпластовыми трубопроводами и прорезиненными шлангами, на которых установлены винилпластовые вентили.

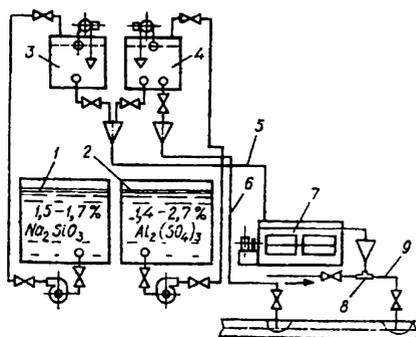


Рис. 4.1. Схема установки для активации силиката натрия сульфатом алюминия:

1, 2 – растворимые баки соответственно жидкого стекла и сульфата алюминия; 3, 4 – дозирующие баки соответственно жидкого стекла и сульфата алюминия; 5 – трубопровод для поступления нейтрализованного раствора жидкого стекла в зрельник 7; 6 – трубопровод для поступления раствора коагулянта в смеситель; 8 – эжектор; 9 – трубопровод для поступления активированного силиката натрия в смеситель.

АК на этой установке получают так. Готовят 1,5-2%-й по SiO_2 раствор жидкого стекла, затем его обрабатывают хлорно-воздушной смесью состава (1:0,5 – 1:2) в струйном аппарате (хлоратор типа ЛК-10) при циркуляции раствора в системе бак – насос – струйный аппарат – бак до получения необходимого молярного соотношения Cl_2/Na_2O (0,90-1,05). Хлорированный раствор выдерживают 1 ч для приобретения им флокулирующих свойств. Вызревший золь разбавляют до 0,50-0,75 % по SiO_2 и дозируют в обрабатываемую воду.

На крупных водоочистных станциях удобнее использовать аппаратуру непрерывного действия. В НИИ ВОДГЕО Г.Г. Первовым предложена установка непрерывного действия для получения АК с

использованием в качестве активатора сульфата алюминия.

Установка состоит из баков рабочих растворов силиката натрия и сульфата алюминия, зрельника с мешалкой, насосов для подачи рабочих растворов из баков в дозаторы, эжектора для разбавления АК и подачи ее в обрабатываемую воду.

Для активации применяются 1,5-1,7 %-й раствор силиката натрия и 1,4-2,7 %-й раствор сульфата алюминия. Рабочие растворы из дозаторов в реакгентный бак подают непрерывно. Длительность пребывания АК в реакгентном баке составляет 1-1,5 ч.

Применение хлора для активации жидкого стекла предпочтительнее, так как при активации последнего сульфатом алюминия даже небольшой избыток сульфата приводит к резкому снижению pH и быстрому застудневанию золя АК (рис. 4.2, кривая 1). Избыток же даже 50 % хлора вызывает небольшое изменение pH золя АК (см. рис. 4.2, кривая 2) и скорость застудневания при этом возрастает не так резко. Длительность вызревания золя АК зависит от pH среды (рис. 4.3).

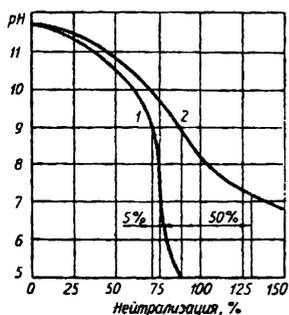


Рис. 4.2. Зависимость pH золя АК от степени её нейтрализации сульфатом алюминия (1), хлором (2)

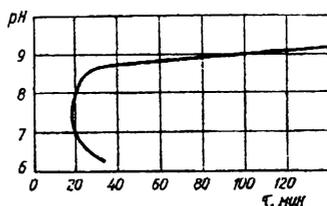


Рис. 4.3. Зависимость длительности вызревания золя АК от pH среды при обработке жидкого стекла хлором

В ИКХХВ АНУ Л.А. Кульским, В.А. Слипченко, В.Ф. Накорчевской и др. разработаны конструкции дозаторов АК-ДАК-10 и ДАК-15, обеспечивающие непрерывное приготовление золя АК хлорированием раствора жидкого стекла. Эта аппаратура может быть применена для получения АК и при использовании других газообразных активаторов (CO_2 , SO_3 и пр.).

ДАК-15 снабжен электропультом, в котором смонтированы пусковая аппаратура насоса и автоматические устройства для аварийного отключения подачи газообразного хлора и жидкого стекла при падении давления воды ниже 0,20-0,25 МПа.

Вместимость бака для активации жидкого стекла хлором W_a

определяют по формуле

$$W_a = \frac{D_{cp} q T}{K},$$

где D_{cp} – доза АК, г/м³; q – расход обрабатываемой воды, м³/ч; T – продолжительность заготовки АК, ч; K – концентрация раствора АК после разбавления водой, г/м³.

ДАК на водопроводной станции должно быть не менее двух, один из них является резервным.

4.5.2. Приготовление растворов органических флокулянтов

Высокомолекулярные флокулянты (ПАА, ВА-2, ВА-3 и др.) промышленностью выпускаются в виде порошков, 7-8 %-ных гелей и высокосвязных жидкостей. Для использования в технологии воды на станциях водоподготовки из них готовят рабочие разбавленные растворы.

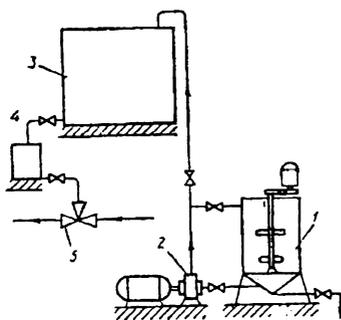


Рис. 4.4. Механическая мешалка для растворения ПАА (конструкции ПКБ АКХ) и схема дозирования рабочих растворов

Растворение сухих порошков происходит в механических мешалках, имеющих обычно несколько пропеллеров.

Рабочий раствор концентрации 1-1,5 % получают из гелеобразных товарных продуктов в баке с механической лопастной мешалкой, имеющей 800-1 000 оборотов вала в 1 мин. Из бака (рис. 4.4), раствор циркуляционным насосом 2 перекачивают в расходный бак 3, из которого он непрерывно

самотеком поступает в дозировочный бачок 4. Вторичное разбавление рабочего раствора и транспортирование: его к месту введения в обрабатываемую воду производят эжектором 5. Время приготовления рабочего раствора 25-40 мин.

На станциях водоподготовки может применяться гидролизированный ПАА. Его получают омылением технического ПАА щелочью. Сначала в баке с механической мешалкой получают 0,5 %-ный раствор ПАА. Затем добавляют гидроксид натрия из расчета 0,0375 кг NaOH на 1 кг 8 %-го раствора ПАА и смесь перемешивают до полно-

го растворения щелочи. После этого пропускают через рубашку аппарата пар и выдерживают полученный раствор 16 ч при температуре 50-80°C. Гидролизованный ПАА перекачивают в расходные баки, а из них насосами-дозаторами подают в обрабатываемую воду.

Раствор ПАА получают также в пневматических мешалках.

Растворение ПАА интенсифицируют подогревом воды в баке до 20-25°C паром, пропускаемым через расположенный в нем змеевик, и сжатым воздухом, подаваемым от воздуходувки. Время растворения ПАА составляет 2-3 ч.

Концентрацию раствора ПАА для дозирования в воду принимают 0,1-1%. Срок хранения запасов рабочих растворов ПАА не должен превышать 20 дней. Исходя из этого, определяется количество мешалок и объем расходных баков.

4.6. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИЗВЕСТКОВОГО МОЛОКА И ИЗВЕСТКОВОГО РАСТВОРА

Для подщелачивания воды при коагулировании, умягчении, обезжелезивании и стабилизации применяют строительную известь в виде известкового молока концентрацией 5% по оксиду кальция или в виде раствора концентрацией до 1,4 г/дм³.

На станциях обработки воды, в зависимости от вида и качества товарного продукта, расхода и места ввода извести, применяется несколько технологических схем известкового хозяйства:

- если известковое молоко или тесто поставляют централизованно, предусматривают мокрое хранение реагента, при котором используются устройства для отбора теста или цистерны для доставки молока, баки с гидравлическим перемешиванием для 30%-го известкового молока, а также устройства для его очистки, расходные баки и дозаторы для суспензий;

- если используется комовая известь, предусматривается как сухое, так и мокрое ее хранение; при сухом хранении оборудуют склад сухого продукта, дробилки, известегасилки, устройства для очистки известкового молока, гидравлические мешалки, расходные баки и дозаторы для суспензий, при мокром – промежуточный склад сухого хранения, дробилки, известегасилки, резервуары-хранилища, устройство для отбора и транспортировки теста, гидравлические мешалки, устройства для очистки известкового молока, дозатор суспензий;

- при небольшой производительности станции (до 3 тыс. м³/сут) известковый раствор получают по схеме: склад мокрого хранения – устройство для отбора теста – сатуратор двойного насыщения – дозатор для растворов;

– если поставка порошкообразного продукта обеспечивается систематически, целесообразно применять сухое дозирование извести с использованием схемы, включающей склад сухого хранения реагента, дозатор (питатель) порошкообразных веществ и смеситель.

Баков для известкового молока или раствора должно быть не менее двух.

Комовую известь в реагентном хозяйстве гасят в лопастных, барабанных, термомеханических, бегунковых или фрезерных известегасилках.

В условиях водоочистных станций могут применяться изготовляемые серийно механические известегасилки производительностью до 1 т/ч, термомеханические известегасилки производительностью до 2 т/ч, а также шаровые мельницы производительностью до 6 т/ч.

4.7. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ

С целью увеличения точности дозировки из хорошо растворимых соединений (фторида натрия, кремнефторида аммония) готовят ненасыщенные растворы из фторсодержащих реагентов с малой растворимостью (кремнефторид натрия) – насыщенные и ненасыщенные растворы. Для реагентов с малой растворимостью применяют сатураторы одинарного насыщения, для хорошо растворимых соединений – расходные баки с механическим перемешиванием или сжатым воздухом.

4.8. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПУЛЬПЫ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ

Порошкообразные активированные угли обычно применяют для обработки воды в виде пульпы. Пульпу активированного угля готовят замачиванием порошковидного угля в течение 1 ч в баках с гидравлическим или механическим перемешиванием.

Применяют схему мокрого дозирования угля с приготовлением пульпы в специально разработанных смесительных барабанах с продолжительностью замачивания до 30 мин (рис.4.5).

Пульпу в воду подают дозатором, работающим с постоянным уровнем, поддерживаемым непрерывной циркулирующей пульпы. В этом случае концентрацию пульпы определяют по плотности (рис.4.6).

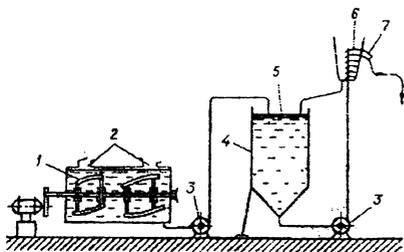


Рис. 4.5. Схема установки для приготовления и дозирования пульпы активированного угля на тюменском водопроводе:

1 – смесительный барабан; 2 – загрузочные люки; 3 – насосы; 4 – бункер для пульпы; 5 – сетка; 6 – дозатор; 7 – трубопровод для подачи отдозированной пульпы

коммуникациях устраивают ревизии для их прочистки.

Поскольку помещения угольных установок относятся к категории пожароопасных, их следует вентилировать (обеспечить не менее чем 5-кратный обмен воздуха в 1 ч). Вентиляцию помещений, где ведутся работы с активированным углем, необходимо оборудовать фильтрами, предотвращающими вынос частичек угля. В этих помещениях запрещается курить и работать с огнем.

Насосы для перемешивания и перекачки угольной пульпы должны быть стойкими по отношению к абразивному воздействию угля. Концентрацию пульпы выбирают равной 5-10%. Скорость движения пульпы в трубопроводах должна быть не менее 1,5 м/с; на

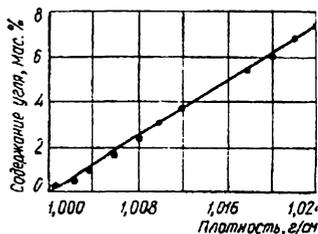


Рис. 4.6. Зависимость плотности суспензии порошкообразного активированного угля от его содержания в воде

4.9. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ СОДЫ, ГЕКСАМЕТАФОСФАТА НАТРИЯ И ПЕРМАНГАНАТА КАЛИЯ

Раствор соды готовят в стальных или железобетонных баках, перемешивая раствор мешалками или сжатым воздухом. Концентрацию раствора соды принимают 4%. Подогрев воды до 50-60°C значительно ускоряет процесс растворения соды.

Раствор гексаметафосфата натрия готовят в баках с механическим перемешиванием. Стенки баков с внутренней стороны должны иметь антикоррозионное покрытие. Расчетная концентрация раствора гексаметафосфата натрия принимается 2-3% в пересчете на товарный продукт. Баков должно быть не менее двух. Продолжительность растворения гексаметафосфата натрия для получения раствора 3%-й концентрации в холодной воде составляет 4-5 ч, в воде температурой 50°C – около 2 ч (при непрерывном перемешивании раствора).

Раствор перманганата калия приготавливают в растворных баках. Рабочая концентрация реагента 0,5-2%. Продолжительность его полного растворения принимают равной 4-6 ч при температуре воды до 20 °С и 2-3 ч – при температуре воды 40 °С.

Растворных баков для перманганата калия, которые одновременно являются и расходными баками, должно быть не менее двух.

4.10. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВВЕДЕНИЯ РЕАГЕНТОВ

Реагенты подают в воду так, чтобы очистка воды заканчивалась в проектируемом комплексе оборудования. Поэтому их обычно вводят в начале очистных сооружений и быстро перемешивают со всей массой воды. Исключение составляют реагенты, предназначенные для устранения повторного бактериального загрязнения, защиты трубопроводов от коррозии и т.д. В этом случае реагенты, не содержащие взвешенных веществ и не образующие их при взаимодействии с соевым составом воды, можно вводить в очищенную воду.

Коагулянты подают в воду до ее поступления на очистные сооружения или добавляют в первом же сооружении – смесителе. При этом их смешивают либо со всей массой воды, поступающей на очистку, либо (при небольшом количестве загрязнений) с частью обрабатываемой воды с последующим смешением обоих потоков (концентрированная коагуляция); применяют также предварительно выделенный гидроксид коагулянта или основные соли. При малом количестве загрязнений в природной воде коагулянты можно вводить периодически.

Флокулянты вводят через 2-3 мин после добавления коагулянта, обычно в конце смесителя или в начале камер хлопьеобразования. При низкой температуре между вводом обоих реагентов должен быть большой интервал времени.

При обработке воды ПАА перед фильтрами, а также перед контактными осветлителями время поступления ее на эти сооружения должно быть минимальным.

При введении перед фильтрами АК ее доза назначается таким образом, чтобы обеспечить оптимальный режим работы.

Подщелачивающие реагенты (известковые раствор, молоко, меловая суспензия, сода, гидроксид натрия), содержащие значительное количество взвешенных веществ, подают в воду в тех же местах, что и коагулянты, до и после их добавления в зависимости от принятой на основании исследований технологии очистки воды. При недостаточной для коагуляции щелочности воды известь или соду следует вводить одновременно с коагулянтом. В высокоцветные воды добавляют подщелачивающие реагенты после осаждения

из воды основной массы гидроксидов коагулянта, т.е. в конце отстойников. Такие реагенты, как известковая вода, растворы соды и гидроксида натрия, не содержащие взвешенных веществ, могут подаваться в очищенную воду в дозах, не вызывающих ее умягчения.

Хлорсодержащие реагенты при предварительном хлорировании воды можно вводить в ковш, водоприемный колодец, всасывающую или напорную линию насосной станции первого подъема или в смеситель, а при обеззараживании воды – в коллектор или резервуар чистой воды, а также во всасывающий трубопровод насосной станции второго подъема.

Аммонизация воды осуществляется в тех же местах, что и хлорирование. Аммиак добавляют до и после введения хлора в зависимости от технологических показателей обрабатываемой воды; при наличии в ней фенолов аммиак подают раньше хлора. *Дехлорирующие реагенты* вводят в очищенную воду.

Раствор *фторсодержащих реагентов* можно подавать в водопроводы насосной станции первого подъема перед очистными сооружениями, на фильтры и после очистных сооружений (в водоводы перед хлорированием, а также во всасывающий трубопровод насосной станции второго подъема).

Как при мокром, так и при сухом дозировании реагенты для фторирования должны быть тщательно растворены. Место введения раствора фторсодержащих реагентов необходимо выбирать так, чтобы реагент обязательно перемешивался с водой. При выборе места следует исходить также из способа очистки воды и технико-экономических соображений.

В артезианские воды, подаваемые потребителю без очистки, фторсодержащие реагенты дозируют непосредственно в напорные водопроводы.

В системах, где вода подвергается очистке, место введения реагента выбирают с таким расчетом, чтобы при последующей очистке потеря фторидов была наименьшей. Так, при дозе коагулянта 100 мг/дм^3 потеря фторидов при введении их в смесители составляет $\frac{1}{3}$. Опыты на одной из водоочистных станций г. Вашингтона показали, что при дозе коагулянта 19 мг/дм^3 потери фторид-ионов составили 7-10%, при дозе $45-50 \text{ мг/дм}^3$ – 25-30%. Поэтому на большинстве водоочистных станций в США фторсодержащие реагенты вводят после коагуляции. При малой нагрузке на фильтры их 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 мирятся с потерями фторидов, если это экономически оправдано. Так, на фтораторной установке водоочи-

стной станции в г. Вашингтоне реагент вводят в неочищенную воду. Потери фторид-ионов составляют при этом 0,1 мг/дм³. На фтораторных установках дозаторы располагают ближе к месту хранения реагента. Трубопроводы для подачи раствора реагента делают как можно короче, поскольку чем длиннее трубопровод, тем выше стоимость подачи реагента насосом и больше затраты на удаление из него шлама.

На большинстве водоочистных станций фторирование является последней стадией обработки, не считая хлорирования. При хлорировании воды фториды не удаляются. Хлор и фториды можно добавлять одновременно, однако следует иметь в виду, что хлор и его производные обесцвечивают реагенты, добавляемые при определении фторидов в воде, что может привести к ошибке при нахождении концентрации фтора.

Для устранения привкусов и запахов допускается применение фильтров, загруженных гранулированным *активированным углем*, или двухслойных фильтров с верхним слоем из активированного угля. Фильтры с активированным углем устанавливаются после фильтров для осветления воды. При обработке воды порошкообразным активированным углем первая доза его может вводиться в воду на ковше или на станции первого подъема, вторая – в трубопроводы подачи обесцвеченной, осветленной воды на фильтры.

В случае применения в технологической схеме обычных скорых фильтров возможно уменьшение длительности фильтроцикла. Однако этот недостаток можно устранить применением фильтров с крупнозернистой загрузкой или двухслойных фильтров большой грязеемкости. Исследования показывают, что через двухслойные фильтры можно фильтровать очищенную воду с содержанием порошкообразного активированного угля (марки ОУ) до 5 мг/дм³. Фильтроцикл при этом не уменьшается.

При очистке цветной воды, а также воды, содержащей наряду с соединениями, имеющими запах, и органические вещества без запаха, активированный уголь для дезодорации лучше вводить в воду после удаления основной массы этих соединений, в особенности, если для дезодорации не требуется больших доз угля. Если же такое решение неосуществимо, то необходимо несколько увеличить дозу угля.

При умягчении воды активированный уголь следует вводить перед известкованием, особенно, если повышение рН ухудшает процесс адсорбции удаляемых веществ.

Рекомендуемая последовательность введения реагентов и интервалы времени между введением отдельных видов реагентов приведены в табл.4.2.

Если обеспечить необходимые интервалы времени между введением отдельных реагентов в трубопроводы перед станцией очистки воды и смесителем невозможно, допускается устройство дополнительных смесителей и контактных емкостей, конструкция которых должна предотвращать возможность осаждения реагентов, вводимых в виде суспензии.

Таблица 4.2. Последовательность и интервалы введения реагентов в обрабатываемую воду

Характеристика воды	Реагент	Последовательность введения реагентов
Запахи и привкусы отсутствуют	хлор, коагулянт	Первичное хлорирование, через 2-3 мин коагулянт
Запахи (в том числе и хлор-фенольный) и привкусы при хлорировании не появляются	1) коагулянт, озон	Коагулянт, озон перед фильтрами или в фильтрованную воду
	2) хлор, перманганат калия, коагулянт	Первичное хлорирование, через 10 мин перманганат калия, через 2-3 мин коагулянт
	3) хлор, активированный уголь, коагулянт	а) Первичное хлорирование, через 10-15 мин активированный уголь, через 10 мин коагулянт; б) Первичное хлорирование, через 2-3 мин коагулянт, активированный уголь дозой до 5 мг/дм ³ перед фильтрами
	4) хлор, перманганат калия, активированный уголь, коагулянт	Первичное хлорирование, через 10 мин перманганат калия, через 10-15 мин активированный уголь, через 10 мин коагулянт
То же, при хлорировании появляется хлор-фенольный запах	1) аммиак, хлор, коагулянт	Аммиак, через 2-3 мин первичное хлорирование, через 2-3 мин коагулянт
	2) коагулянт, озон	Коагулянт, озон перед фильтрами или в фильтрованную воду
	3) перманганат калия, хлор, коагулянт	Перманганат калия, через 10 мин хлор, через 2-3 мин коагулянт
	4) аммиак, хлор, перманганат калия, коагулянт	Аммиак, через 2-3 мин хлор, через 10 мин перманганат калия, через 2-3 мин коагулянт
	5) перманганат калия, хлор, активированный уголь, коагулянт	Перманганат калия, через 10 мин хлор, через 10-15 мин активированный уголь, через 10 мин коагулянт

4.11. ДОЗИРОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ

Дозирование реагентов на станциях подготовки хозяйственно-питьевой воды является наиболее ответственным этапом. От его совершенства в значительной степени зависит качество очистки воды и экономичность технологического процесса. При этом следует учитывать, что значительные избытки некоторых реагентов нарушают установившееся равновесие в природной воде, денатурируют ее и могут обусловить повторное загрязнение.

На водоочистных станциях применяют *дозаторы сухих реагентов, суспензий, растворов и газов*.

Дозаторы сухих реагентов подают их в открытый поток или в специальный смеситель, в котором сухой реагент быстро растворяется. Дозаторы суспензий, растворов и газов бывают двух типов: приспособленные к дозированию реагентов в *открытый поток*, и в *напорный трубопровод* (напорные дозаторы). Напорные дозаторы могут дозировать реагенты и в открытый поток.

По принципу действия различают дозаторы:

- а) постоянного расхода, устанавливаемые на водоочистных станциях с равномерным расходом воды;
- б) пропорционального расхода, которые автоматически изменяют дозу реагента при изменении расхода обрабатываемой воды;
- в) рассчитанные на поддержание заданных параметров качества обрабатываемой воды.

Дозаторы постоянной дозы обеспечивают подачу в воду (независимо от ее расхода на очистных сооружениях) одинакового количества реагентов. Изменяют расход реагентов в таких дозаторах вручную.

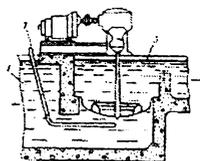
Дозаторы пропорциональной дозы автоматически изменяют расход реагента в соответствии с расходом воды на очистных сооружениях.

Дозаторы, рассчитанные на поддержание заданных параметров обрабатываемой воды, например электропроводности, значения pH и т. д., регулируют расход реагентов независимо от расхода воды на очистных сооружениях.

Сухие порошкообразные реагенты могут дозироваться тарельчатыми, шнековыми, вибрационными, ленточными, объемными и весовыми дозаторами и применяемыми в химической промышленности и промышленности строительных материалов питателями.

Глава 5.

СМЕЩЕНИЕ РЕАГЕНТОВ С ВОДОЙ



5.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ СМЕШЕНИЯ РЕАГЕНТОВ С ВОДОЙ

Реагенты в воду подают так, чтобы ее очистка заканчивалась в существующем комплексе оборудования, поэтому вводят их, как правило, в начале технологической схемы.

Смешение производят в сооружениях называемых *смесителями*. С целью исключения повторного бактериального загрязнения, защиты трубопроводов от коррозии, введения в воду недостающих ионов и т. д. можно подавать реагенты и в другие точки технологической схемы. Например, в воду перед резервуарами чистой воды вводят хлорную и известковую воду, соединения фтора, озono-воздушную смесь и другие вещества. Реагенты в обрабатываемую воду можно подавать непосредственно перед входом в осветлители со слоем взвешенной контактной среды, в контактные осветлители и фильтры. Смесители предназначены для быстрого и равномерного смешения реагентов со всем объемом обрабатываемой воды, чтобы за кратчайшее время обеспечить максимальный контакт частиц загрязнений с промежуточными продуктами гидролиза коагулянта до окончания реакции полимеризации. Неэффективная интенсивность смешения приводит к перерасходу коагулянта и к малой скорости агломерации примесей воды при данной дозе реагента.

Интенсивность смешения реагентов с водой по КЭМПУ может оцениваться величиной Gt (критерий КЭМПА) и градиентом скорости G, c^{-1} , который определяется по формуле

$$G = \left[\frac{E}{tV\eta} \right]^{0,5},$$

где E - количество энергии, затрачиваемой на смешение, Дж; t - продолжительность смешения, с; V - объем воды в смесителе, м³; η - динамическая вязкость, Па·с.

Исследованиями Е.А. Рождественской, А. Мирзаева установлено, что при оптимальной интенсивности смешения порядка $G=250-300 \text{ c}^{-1}$ (увеличение градиента скорости) значительно уменьшаются дозы коагулянтов и флокулянтов, время, необходимое для их полного распределения в воде, удельные капиталовложения и удельные эксплуатационные расходы.

удельные эксплуатационные расходы.

Быстрое и равномерное смешение реагентов с обрабатываемой водой достигается их введением в зоны наибольшей турбулентности потока жидкости. Для этого устраиваются диффузные, камерные, камерно-лучевые и др. реагентораспределители, которые выполняются в виде трубчатых систем или вставок, устанавливаются в подающем воду канале или трубопроводе и создают местные сопротивления. Потери напора при их использовании составляют соответственно 0,1-0,2 и 0,2-0,3 м. Затем для последующего интенсивного смешения реагентов с водой поток направляется в смесители.

Процесс коагуляции происходит интенсивнее при введении в воду растворов коагулянтов низкой концентрации (до 1%), однако при использовании высокоэффективных смесителей концентрация раствора реагента существенного влияния не оказывает.

Должна предусматриваться также возможность последовательного введения реагентов в воду с соблюдением необходимых интервалов времени между их подачей. Продолжительность смешения реагентов с водой зависит от типа смесителей и может составлять от 1-2 с до 2-3 мин.

По принципу действия различают два основных типа смесителей: 1) *гидравлические*, в которых турбулизация потока создается трехкратным местным увеличением скорости потока обрабатываемой воды с 0,4-0,6 до 1 м/с при ее движении через сужения или дырчатые перегородки; 2) *механические*, в которых турбулизация потока создается мешалками различных типов, приводимыми в действие электродвигателем, а также смешением в центробежном насосе. Гидравлические смесители конструктивно просты и удобны в эксплуатации, однако при расходах воды, меньших, чем расчетные, они не обеспечивают удовлетворительного смешения. Из гидравлических смесителей наиболее распространены дырчатые, перегородчатые, вертикальные (вихревые), трубные и др. В них предусмотрено устройство переливов и трубопроводов для выпуска воды и осадка в систему водоотведения. В механических смесителях (турбинного, лопастного, пропеллерного типов), чаще всего применяемых за рубежом, процесс гидролиза, полимеризации и адсорбции образующихся соединений на поверхности коллоидных частиц загрязнений происходит за короткое время (10-13 с – в смесителях с пропеллерными мешалками и до 30-60 с – с лопастными).

Число смесителей принимается не менее двух. Резервные смесители не предусматриваются, а устраиваются обводные трубопроводы в обход смесителей.

При выборе типа смесителей необходимо учитывать конструктивные и технологические особенности, компоновку технологических сооружений станции, ее производительность и метод обработки воды.

5.2. ДЫРЧАТЫЕ СМЕСИТЕЛИ

Дырчатый смеситель (рис. 5.1, а), широко применяющийся на станциях водоподготовки производительностью до 20-24 тыс. м³/сут, представляет собой железобетонный лоток с тремя вертикальными перегородками. Перегородки установлены перпендикулярно к движению воды и снабжены расположенными в несколько рядов отверстиями. Вытекающие из отверстий струи воды создают большое количество мелких завихрений в лотке смесителя, что способствует эффективному смешению вводимых реагентов с обрабатываемой водой.

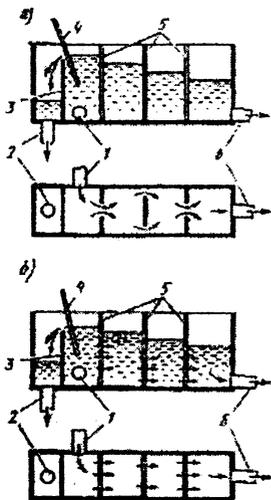


Рис. 5.1. Схемы устройства дырчатого (а) и перегородчатого (б) смесителей

Чтобы исключить возможность насыщения воды пузырьками воздуха, предусматривают затопление верхних рядов отверстий в перегородках на глубину 0,10-0,15 м. Скорость движения воды в отверстиях перегородок принимают равной 1 м/с.

Расчет дырчатых смесителей проводят в таком порядке. Число вертикальных дырчатых перегородок принимают обычно равным 3. Диаметр отверстий в перегородках зада-

ют в пределах 20-40 мм для станций небольшой производительности, 100 мм – для станций производительностью 24 тыс. м³/сут. Задавая диаметр отверстий в каждой перегородке, их количество n определяют по формуле

$$n = \frac{4q}{v_0 \pi d^2},$$

где q – расчетный расход воды, поступающей в смеситель, м³/с; v_0 – скорость движения воды в отверстиях (принимают равной 1 м/с); d – диаметр отверстий, м.

Суммарная площадь отверстий в каждой перегородке не должна превышать 30 % ее рабочей площади.

Потерю напора h при прохождении воды через отверстия перегородок определяют по формуле

$$h = \frac{mv_0^2}{2g\mu^2},$$

где m - число дырчатых перегородок, равное 3; g – ускорение свободного падения, (9,81 м/с²); μ – коэффициент расхода, зависящий от отношения диаметра отверстия d в м к толщине перегородки δ в м, принимается равным 0,65-0,75 ($\mu = 0,65$ при $d/\delta = 2$ и 0,75 при $d/\delta = 1$).

Ширину лотка дырчатого смесителя определяют по скорости движения в нем воды, которую принимают $v_n = 0,6$ м/с.

Найдя потерю напора в перегородке и задав глубину H в конце смесителя (обычно в пределах 0,4-0,5 м), определяют уровень воды в начале смесителя. На отметку уровня воды в начале смесителя должна быть подведена вода насосами станции первого подъема.

Как показывают результаты исследования дырчатых смесителей на станциях водоподготовки, при снижении расхода воды в них наблюдается неравномерность смешения с реагентами по высоте камеры.

5.3. ПЕРЕГОРОДЧАТЫЕ СМЕСИТЕЛИ

Перегородчатый смеситель (рис. 5.1, б) с разделением потока по ширине лотка имеет три перегородки: в первой и третьей проходы расположены в центре, а в средней – два боковых прохода у стенок лотка. Поток воды через такие проходы в перегородках вызывает изменение направления ее движения в пределах лотка, а повышенные скорости в суженных местах проходов создают завихрения, способствующие наиболее равномерному и полному смешению вводимого реагента с обрабатываемой водой. Для устранения засасывания в воду воздуха верхние кромки проходов должны обязательно быть затопленными на 0,10-0,15 м.

Расстояние между перегородками равно двойной ширине лотка. Скорость движения воды в нем принимают равной не менее 0,6 м/с, а в проходах – 1 м/с. Потеря напора в каждом проходе при этом составляет 0,15 м.

Расчет перегородчатого смесителя производят по формуле

$$q = b_1(H + 2h' - h_3)v_n = 2b_2(H + h' - h_3)v_n = b_3(H - h_3)v_n,$$

где q – расход воды, проходящей через очистные сооружения, м³/с; b_1, b_2, b_3 – ширина проходов в перегородках, м; v_n – скорость движения воды в проходах, м/с; h' – потеря напора в каждом проходе, м; h_3 – заглубление проходов в перегородках, м; H – уровень воды в лотке смесителя за перегородками (принимают равным 0,4–0,6 м).

Ширину лотка перегородчатого смесителя рассчитывают по

скорости движения воды. На водоочистных комплексах большой производительности применяются перегородчатые смесители коридорного типа в виде каналов с перегородками, обеспечивающими горизонтальное или вертикальное движение воды с поворотами на 180°. Число поворотов принимают 9-10. Для сокращения времени пребывания воды в смесителях в периоды интенсивного хлопьеобразования следует предусматривать возможность уменьшения числа перегородок.

Расстояние между перегородками должно быть не менее 0,7 м, скорость движения воды в коридорах v_k при длительности пребывания ее в смесителе 2 мин принимается равной 0,6 м/с, при длительности пребывания 1,5 мин – 0,9 м/с. Потерю напора h_c в м на одном повороте смесителя определяют по формуле

$$h_c = \frac{kv_n^2}{2g},$$

где k - коэффициент сопротивления, принимаемый равным 2,9; v_n – скорость движения воды в перегородках смесителя, принимаемая уменьшающейся от 0,7 до 0,5 м/с; g - ускорение свободного падения.

5.4. ВИХРЕВЫЕ СМЕСИТЕЛИ

На станциях водоподготовки с осветлителями, применением известкового молока, угольной пульпы и каустического магнетита применять перегородчатые и дырчатые смесители не рекомендуется, поскольку скорости потока в них не обеспечивают поддержания во взвешенном состоянии частичек реагентов, которые могут осаждаться между перегородками. В этом случае более пригодны вихревые (вертикальные) смесители. В последние годы такие смесители получили наибольшее распространение.

Вихревой смеситель (рис. 5.2) представляет собой круглый или квадратный (в плане) резервуар с конической или пирамидальной нижней частью. Центральный угол между наклонными стенками должен составлять 30-45°. Вода в вихревом смесителе перемешивается за счет изменения скорости восходящего потока воды при переходе от узкой (нижней) к широкой (верхней) части смесителя.

Реагенты вводят в нижнюю часть смесителя. Собирают воду в верхней части смесителя в переливной периферийный желоб, в затопленную воронку или в дырчатые трубы.

Движение частичек растворяемого вещества во взвешенном состоянии в турбулентном восходящем потоке воды обеспечивает относительно полное их растворение. Наиболее крупные частички

находятся в нижней зоне повышенных скоростей потока.

Вихревые смесители проектируются на длительность пребывания в них воды в течение 1,5-2 мин, а при реагентном умягчении – до 3 мин. Систему сборных отводящих труб или желобов рассчитывают по скорости движения воды в них, равной 0,6 м/с. Скорость выхода воды из подводящего трубопровода принимают равной 1,2-1,5 м/с, скорость восходящего потока воды на уровне водосборного устройства смесителей – 30-40 мм/с.

Применяют вихревые смесители на станциях большой и средней производительности при условии, что нагрузка на один смеситель не превышает 1200-1500 м³/ч.

При проектировании станций обработки воды с применением осветлителей со взвешенной контактной средой вертикальные смесители следует приспособлять для воздухоотделения. Высоту вертикальных стенок вихревого смесителя принимают равной не менее 1-1,5 м; смешанную с реагентом воду отбирают через отверстия, затопленные в воду на глубину 0,6-0,9 м. Для защиты отверстий распределительных трубопроводов осветлителей от забивания крупной коагулированной взвесью воду при выходе из смесителя процеживают через сетки с диаметром ячеек 5-7 мм.

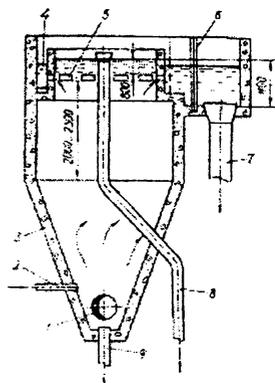


Рис. 5.2. Вихревой смеситель, обеспечивающий отделение воздуха от воды:
1 – подвод воды; 2 – подвод реагентов; 3 – бетонный корпус; 4 – кольцевой желоб; 5 – затопленные отверстия; 6 – сетка; 7 – отвод воды; 8 – перелив; 9 – трубопровод для опожнения.

5.5. ТРУБЧАТЫЕ СМЕСИТЕЛИ

Трубчатые смесители применяются на станциях водоподготовки для смешения раствора коагулянтов с обрабатываемой водой и обеспечивают продолжительность смешения около 1 с. Состоят из корпуса, в качестве которого используется трубопровод обрабатываемой воды, реагентпровода и распределителя раствора реагента. На основе анализа известных схем и конструкций ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО совместно с Минскводоканалпроектом разработаны и внедрены на ряде станций водоподготовки трубчатые смесители быстрого действия с диффузорным, камерным и камерно-лучевым реагентораспределителями (рис. 5.3, а-г.)

тельное смешение осуществляется при расширении потока за кромками диффузора и в корпусе смесителя.

Высокая скорость смешения в камерном распределителе (рис. 5.3, б) основана на равномерном, рассредоточенном и направленном выпуске струй реагента из цилиндрической камеры с одним или несколькими циркуляционными отверстиями на дне и перфорированными стенками, образующими с корпусом смесителя рабочий зазор. В камере реагент разбавляется исходной водой, часть которой проходит через циркуляционное отверстие под действием разности давлений перед ним и в рабочем зазоре.

Камерно-лучевой распределитель (рис. 5.3, в) включает цилиндрическую камеру, присоединенные к ней вблизи дна радиальные перфорированные ответвления с открытыми выходными сечениями и расположенный на ее дне циркуляционный патрубок, открытый с обеих сторон. Коагулянт поступает по реагентопроводу в камеру, где соединяется с частью потока воды, входящей в нее через циркуляционный патрубок вследствие превышения полного напора в ядре потока над напором за его пределами, в данном случае в местах выхода разбавленного раствора из ответвлений. Быстрота смешения обеспечивается без существенного стеснения потока.

Турбулентность потока создается при скорости движения воды в трубопроводе 1,0-1,5 м/с. Для лучшего смешения раствора реагентов с обрабатываемой водой и сокращения длины участка смешения рекомендуется устраивать сужения в напорном трубопроводе в виде трубы Вентури 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 обеспечивают появление вихревых потоков в обрабатываемой воде, что благоприятствует смешению ее с реагентами. Потеря напора в них не должна превышать 0,3-0,4 м. В тех случаях, когда высотное расположение напорного трубопровода и дозирующих устройств не обеспечивает подачи раствора реагента в водовод самотеком, можно применять установку с эжектором (рис. 5.4).

Разрежение (вакуум) B , МПа, в эжекторе определяют по формуле

$$B = \frac{Hf_1^2}{f_2^2} - H,$$

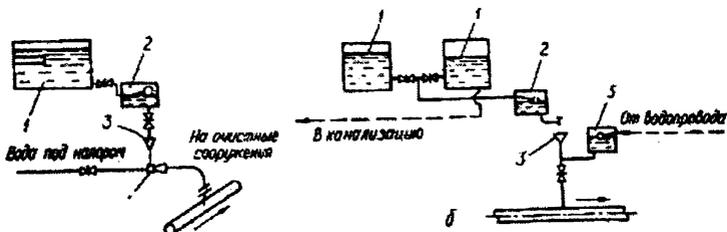


Рис. 5.4. Схема ввода реагента в напорный трубопровод

через эжектор (а) и во всасывающую трубу насоса (б):

1 – раствор коагулянта; 2 – дозировочный бак; 3 – воронка; 4 – эжектор; 5 – бак постоянного уровня.

где H – напор воды, подаваемой к эжектору, f_1 – площадь сечения отводящей трубы, m^2 ; f_2 – площадь суженного сечения трубы.

Труба, подводящая раствор реагента в напорный трубопровод, должна доходить до его середины, а ее конец следует срезать под углом 45° . Трубу изготовляют из пластмассы или стекла и укрепляют в напорном трубопроводе сальником.

Расход воды, подводимой к эжектору $Q_э$, $m^3/ч$, вычисляют по формуле

$$Q_э = \frac{q_э h}{\eta(Hh)},$$

где $q_э$ – производительность эжектора, $m^3/ч$; h – высота подачи воды эжектором, м; η – КПД эжектора, принимаемый равным 0,10-0,15.

5.6. МЕХАНИЧЕСКИЕ СМЕСИТЕЛИ

Согласно современной теории оптимальный эффект коагуляции достигается при очень быстром переносе частиц, т.е. мгновенном распределении реагента во всем объеме воды. Этот процесс возможен в высокоскоростных механических смесителях турбинного или пропеллерного типа (рис. 5.5). Применение их особенно удобно при введении нескольких реагентов, а также в случае, когда по условиям высотного расположения отдельных сооружений водоочистой станций нельзя обеспечить перепад отметок, требуемый для смесителей гидравлического типа.

Механические смесители представляют собой круглые или квадратные в плане резервуары с соотношением высоты к ширине (диаметру) 2:1 с плоским или коническим (пирамидальным) дном.

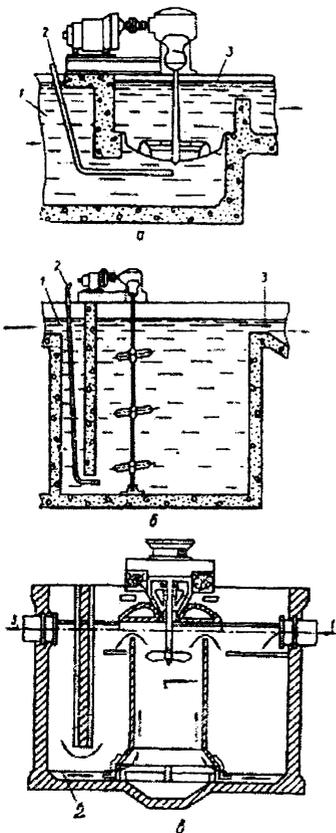


Рис 5.5. Механические смесители турбинного (а), лопастного (б) и пропеллерного (в) типов:

1- подвод воды; 2 - подвод реагента; 3 - отвод воды.

На рис. 5.5 показаны смесители с пропеллерными и лопастными мешалками, насаженными на вертикальные оси. Принцип их работы основан на поступательном движении воды, сообщаемом ей пропеллером или лопастью.

Продолжительность пребывания воды в механических смесителях с пропеллерными мешалками составляет 10-13, а с лопастными мешалками и вертикальной осью вращения – 30-60 с.

В смеситель вода вместе с реагентами поступает снизу и выходит из него сверху, или наоборот. Иногда для более надежного перемешивания устанавливают последовательно два механических смесителя.

Расчет механических смесителей пропеллерного типа конструкции (рис. 5.5, в) сводится к определению объема камеры, мощности и диаметра мешалки.

Объем камеры смесителя принимается равным объему воды, поступающей на очистку за 1-2 мин. При этом количество просасываемой пропеллером воды Q_n , м³/с, равно

$$Q_n = Wn/60,$$

где W – объем камеры смесителя, м³; n - число оборотов воды в смесителе за 1 мин (принимают равным 5-10).

Диаметр мешалки d_m , м, находят, принимая скорость просасывания воды V_n через пропеллер, равной 1,5-2 м/с. Эта скорость связана с площадью F , м², ометаемой пропеллером, зависимостью

$$v_n = \frac{Q_n}{F} = \frac{Q_n}{0,94 \frac{\pi d^2}{4}}.$$

Число оборотов пропеллера мешалки n_m , об/мин, находят по формуле

$$n_m = \frac{27,2v_n}{D \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos^2 \varphi},$$

где D – диаметр бака, м; φ – угол наклона лопасти винта (принимается равным 22°).

Мощность на оси пропеллера N_o , кВт, определяется из выражения

$$N_o = \frac{9,81Q_n H}{\eta_o},$$

где H – напор, развиваемый пропеллером, м; η_o – КПД пропеллера, равный 0,7-0,8.

Мощность мотора N_m , кВт, будет равна

$$N_m = \frac{N_o}{\eta_n},$$

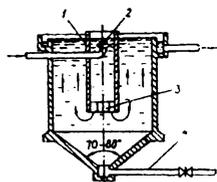
где η_n – КПД передачи от мотора к мешалке (в зависимости от типа передачи принимается равным 0,60-0,95).

Напор H , м, развиваемый пропеллером, должен обеспечить достижение требуемой скорости движения воды в смесителе и преодолеть потери напора в местных сопротивлениях. Определяется по формуле

$$H = \frac{1}{\eta_r} \left(h + \frac{v^2}{2g} \right),$$

где η_r – гидравлический КПД пропеллера, равный 0,8-0,9; h – потеря напора, равная 0,2 м.

Глава 6. КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ



6.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

Укрупнение коллоидных частичек, образующихся при гидролизе коагулянтов, происходит в течение длительного времени. Появлению видимых хлопьев предшествует образование непрочных рыхлых сеток (так называемая *стадия скрытой коагуляции*). Последние затем разрываются на отдельные хлопья, оседающие под действием силы гравитации.

Поскольку частички $Fe(OH)_3$ и $Al(OH)_3$ не сферичны (например, частички $Fe(OH)_3$ дискообразны), не исключена возможность возникновения структур в этих золях именно за счет симметричной формы частичек, приводящей к появлению *структурной вязкости*. Структура, образующаяся при коагуляции золь $Fe(OH)_3$, прочнее, чем структура золь $Al(OH)_3$.

На структурообразование влияет солевой состав воды. Увеличение концентрации хлоридов и гидрокарбонатов повышает прочность возникших структур, а повышение содержания сульфатов понижает ее. Поэтому в первом случае образуются крупные рыхлые хлопья, во втором – мелкие.

Процесс хлопьеобразования характеризуется несколькими стадиями. В момент смешения раствора коагулянта с водой никакие изменения не происходят. Спустя некоторое время появляется опалесценция* и вода мутнеет от образования огромного количества мельчайших хлопьев – до 5 000 в 1 мл (начало хлопьеобразования).

Образовавшиеся хлопья укрупняются, а их число в единице объема уменьшается. Когда оно достигнет 5-10 в 1 мл (конец хлопьеобразования), начинается заметное осаждение хлопьев.

Для интенсивного осветления и обесцвечивания воды обычно стремятся получить легкооседающие крупные хлопья с сильно развитой поверхностью. Одновременно стараются сократить время

* *Опалесценция* – явление рассеивания света мельчайшими частичками, находящимися в воде.

формирования хлопьев. Механизм процесса хлопьеобразования определяется вероятностью столкновения коллоидных частичек, что зависит от их концентрации, подвижности, упорядоченности движения, а также от сцепления.

Эффективность хлопьеобразования зависит от дозы вводимых реагентов, температуры воды, перемешивания и других факторов.

Хлопьеобразование на станциях водоподготовки осуществляется в специальных камерах, которые предназначены для проведения в них физико-химических процессов, обуславливающих образование крупных, прочных, быстро оседающих хлопьев гидроксидов металлов с извлекаемыми из воды примесями.

Целесообразность установки камер хлопьеобразования в соответствии с рекомендациями СНиПа зависит от типа сооружений, используемых для осветления воды. Если в схеме очистных сооружений предусмотрены отстойники любого типа, то наличие камер хлопьеобразования обязательно, поскольку успешная работа отстойников при условии коагулирования взвеси возможна лишь после предварительной подготовки хлопьевидной взвеси в камерах. Если же для осветления воды применяют осветлители, работающие по принципу пропуска осветляемой воды через слой взвешенного осадка, то устройства специальных камер хлопьеобразования не требуется, потому что реакция хлопьеобразования происходит достаточно быстро непосредственно в слое взвешенной контактной среды осветлителя.

Оптимальные условия хлопьеобразования создаются в камерах при обеспечении определенного характера, продолжительности и интенсивности перемешивания воды, поступившей в камеру из смесителя, где в воду был добавлен раствор коагулянта.

Характер перемешивания воды обеспечивается конструктивным оформлением камеры. Оптимальная длительность перемешивания воды достигается за счет определенного объема камеры, а необходимая интенсивность перемешивания – за счет изменения скорости движения воды или скорости движения лопастей мешалок в механических камерах хлопьеобразования.

Перемешивание в камерах хлопьеобразования не должно быть слишком интенсивным, особенно в конце этих сооружений, чтобы избежать разрушения образовавшихся агрегатов.

Исследованиями А. Мирзаева, Г.Н. Луценко и др. установлено, что основным фактором, оказывающим основное влияние на процесс хлопьеобразования, является интенсивность перемешивания с градиентом при скорости $G = 50-60 \text{ с}^{-1}$.

Для перегородчатых камер хлопьеобразования G определяется по формуле

$$G = \left\{ \frac{[nv_1^2 + (n-1)v_2^2] \cdot Q \cdot S}{2V\eta} \right\}^{0,5};$$

для вихревых и водоворотных камер –

$$G = \left(\frac{Sv^2Q}{2V\eta} \right)^{0,5};$$

для флокулянтов (механических) –

$$G = \left(\frac{2\pi mN}{V\eta} \right)^{0,5},$$

где n – число перегородок, шт.; v_1 , v_2 – соответственно скорости движения воды на входе в камеру из подводящего трубопровода, в коридоре камеры и на повороте, м/с; Q – производительность камеры хлопьеобразования, м³/с; ρ – плотность воды, кг/м³; V – объём камеры, м³; η – динамическая вязкость воды, Па·с; m – частота вращения мешалки, с⁻¹; N – начальная мощность, затрачиваемая на вращение, Вт.

При последующем осветлении воды в отстойниках для устранения разрушения хлопьев в коммуникациях камеры хлопьеобразования рекомендуется изготавливать примыкающими или встроенными в отстойники и составляющими с ними одно сооружение. В отдельно стоящих или примыкающих камерах хлопьеобразования, согласно СНиП, скорость движения воды в отводящих трубопроводах или каналах не должна превышать 0,1 м/с для мутных вод и 0,05 м/с для цветных. Для наблюдения за протеканием процесса формирования хлопьев над камерами целесообразно устраивать павильоны шириной до 6 м. В камерах хлопьеобразования применяется гидравлическое или механическое перемешивание. В зависимости от типа и конструктивного решения камер хлопьеобразования длительность пребывания в них обрабатываемой воды колеблется от 6 до 30 мин.

Получили распространение несколько типов камер хлопьеобразования, отличающихся способом перемешивания воды, режимом формирования хлопьев и предназначенных для различных систем отстойников.

В горизонтальных отстойниках предусматривают гидравлические камеры хлопьеобразования перегородчатые, вихревые или со слоем взвешенной контактной среды. При осветлении воды в вертикальных отстойниках применяются гидравлические камеры хлопьеобразования водоворотного типа, расположенные в центре отстойника. При обосновании допускается применение двухэтажных гидравлических и механических камер хлопьеобразования (флокулянтов).

6.2. ПЕРЕГОРОДЧАТЫЕ КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

Перегородчатые камеры хлопьеобразования представляют собой железобетонные прямоугольные (в плане) резервуары с железобетонными или деревянными перегородками (рис. 6.1, 6.2). Вода в перегородчатых камерах хлопьеобразования перемешивается вследствие многократного изменения направления ее движения в них в горизонтальной или вертикальной плоскости. Длительность пребывания мутных вод в перегородчатых камерах составляет 20 мин, цветных с низкой температурой зимой – 30 мин.

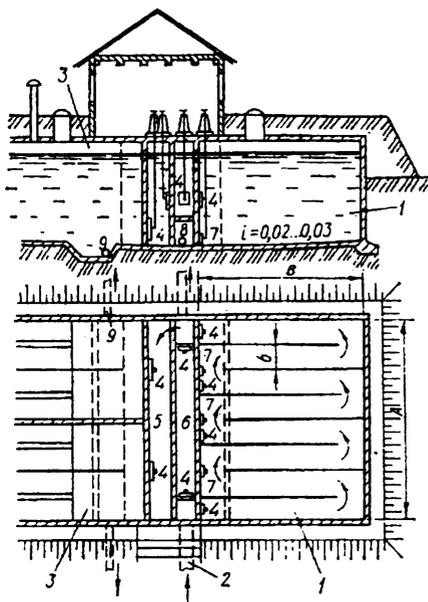


Рис. 6.1. Перегородчатая камера хлопьеобразования (с горизонтальной циркуляцией), совмещенная с горизонтальным отстойником:

- 1 – камера хлопьеобразования; 2 – подача воды в камеру;
- 3 – отстойники; 4 – шиберы для пропускания воды; 5 – распределительный канал;
- 6 – обводной канал; 7 – шиберы для выпуска осадка; 8 – канал для отвода осадка; 9 – удаление осадка из отстойника.

Перегородчатые камеры хлопьеобразования обычно используют в комплексе с горизонтальными отстойниками (рис. 6.1). В этом случае основную часть отстойников и камеры обсыпают землей, а в месте примыкания их устраивают павильон, в котором размещают шиберы и задвижки для управления работой камеры и отстойников. Перегородки делят камеру на последовательно соединенные коридоры.

Движение воды вдоль коридоров с определенной скоростью и периодические повороты потока у горизонтальных или вертикальных перегородок создают благоприятные условия для хлопьеобразования.

Перпендикулярно коридорам устраивается обводной канал для пропуска воды мимо камеры в период ремонта последней и на время, когда не производится коагулирование. В стенке, отделяющей канал от коридоров, предусматриваются промежуточные

выпуски на тот случай, когда по условиям оптимального хлопьеобразования достаточна меньшая длительность пребывания воды в камере.

Дно перегородчатых камер хлопьеобразования делают с уклоном для возможности смыва осадка, который может выпасть при снижении расхода воды через камеру ниже расчетного. Уклон должен составлять 0,02-0,03.

Расчет камеры перегородчатого типа сводится к определению объема камеры, размеров ее в плане, числа и ширины коридоров и общей потери напора воды в камере. Объем камеры хлопьеобразования W_k , м³, находят, задаваясь расчётной производительностью станции водоподготовки q , м³/ч, и временем пребывания в ней воды t , мин:

$$W_k = \frac{qt}{60}.$$

Среднюю глубину камеры выбирают по конструктивным соображениям, исходя из высотной схемы очистной станции и учитывая местные условия (высоту грунтовых вод и др.).

Обычно среднюю глубину камеры принимают в пределах 2,0-3,5 м.

Задав глубину и определив объем камеры, находят ее площадь F , м², в плане

$$F = \frac{W_k}{H},$$

где H – высота камеры, м.

Далее определяют необходимую ширину коридоров b , м, между перегородками

$$b = \frac{q}{3600v_k H},$$

где v_k – скорость движения воды в коридорах камеры (принимают равной 0,2-0,3 м/с).

Скорость потока воды в коридорах камеры хлопьеобразования должна убывать со скоростью от 0,2-0,3 в начале до 0,05-0,10 м/с в конце камеры за счет увеличения расстояния между перегородками. Число поворотов потока в камере принимают равным 8-10.

Ширина коридоров должна быть не менее 0,7 м, так как при более узких коридорах затруднен проход по ним во время ремонта или очистки камеры, а также при производстве строительных работ.

Число коридоров (9-11) и, следовательно, размеры камеры в плане находят по соображениям оптимальной компоновки с сохранением расчетного объема камеры. Так, если камера хлопьеобразо-

вания примыкает к торцам горизонтальных отстойников, то сторона А камеры (рис. 6.1) должна быть близкой к общей ширине отстойников. Исходя из этого, подбирают и число коридоров. Тогда длину В другой стороны камеры можно будет найти по определенной ранее площади камеры в плане. Потери напора h , м, в перегородчатых камерах хлопьеобразования определяют по формуле (см. п. 5.3).

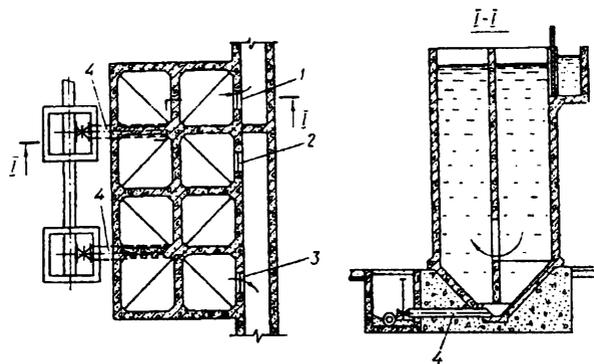


Рис. 6.2. Перегородчатая камера хлопьеобразования с вертикальной циркуляцией воды:

1 – подача воды в камеру; 2 – отвод воды из первой половины камеры; 3 – отвод воды; 4 – удаление осадка.

В перегородчатых камерах хлопьеобразования с вертикальным движением воды (рис 6.2) часть перегородок не доходит до дна камеры, а часть – до верха, и вода в камере движется попеременно то вниз, то вверх. Конструктивно такие камеры значительно сложнее камер с горизонтальным движением воды.

Перегородчатые камеры хлопьеобразования применяют в очистных сооружениях большой производительности – с вертикальной циркуляцией до 45 тыс. м³/сут, с горизонтальной – свыше 45 тыс. м³/сут.

6.3. ВИХРЕВЫЕ КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

Вихревые камеры хлопьеобразования, впервые предложенные Е.Н. Тетеркиным, являются наиболее совершенным типом камер. Основным преимуществом такой камеры является то, что при наличии вихревого движения воды в ней процесс хлопьеобразования заканчивается в 2-3 раза быстрее, чем в камерах иного типа, что позволяет соответственно уменьшить объем камеры.

Проектируют вихревые камеры хлопьеобразования с вертикальными или наклонными стенками, совмещенными с горизон-

тальными отстойниками или встроенными в них.

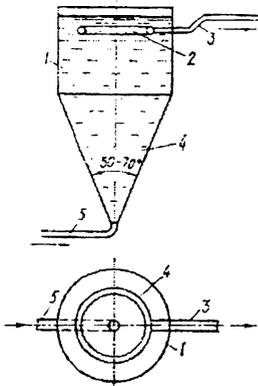


Рис. 6.3. Схема отдельно расположенной вихревой камеры

хлопьеобразования:

- 1 — цилиндрическая надставка;
- 2 — дырчатая труба; 3 — отвод воды;
- 4 — конусное днище;
- 5 — подвод воды.

Вихревая камера хлопьеобразования (рис. 6.3) представляет собой усеченный конус или пирамидальный резервуар, обращенный суженной частью вниз, с цилиндрической или призматической надставкой над ним. Она может также устраиваться в виде прямоугольного (в плане) резервуара с вертикальными стенками. Угол между наклонными стенками в зависимости от высоты камеры принимают равным 50-70°. Обрабатываемая вода должна вводиться в камеру со скоростью 0,7-1,2 м/с, а скорость восходящего потока на выходе из камеры должна составлять 4-5 мм/с, т. е. быть в 140-175 раз меньше.

В вихревых камерах хлопьеобразования обрабатываемая вода подводится ко дну камеры, поднимается вверх с уменьшающейся скоростью и отводится затопленной воронкой, системой дырчатых труб или желобами в распределительный канал и примыкающие к нему отстойники. При сборе воды желобами целесообразнее предусмотреть поступление ее в желоба через затопленные отверстия в стенках желобов, а не через верхние кромки, которые трудно выполнить строго горизонтальными, особенно при значительной их длине.

При движении воды снизу вверх с уменьшающейся скоростью боковые ее слои подсасываются в основной поток, распространяющийся одновременно во все стороны. В результате этого во всей массе воды, находящейся в камере, образуется ряд вихрей, способствующих эффективному перемешиванию, формированию и укрупнению хлопьев.

Длительность пребывания воды в вихревых камерах хлопьеобразования принимают в пределах 6-12 мин, а при реагентном умягчении воды — 5-6 мин (нижний предел для мутных вод, верхний — для цветных). Сбор и отвод воды из камеры в отстойники следует производить так, чтобы хлопья $Al(OH)_3$ и $Fe(OH)_3$ не разрушались. Для этого скорость движения воды в сборных лотках, трубах и отверстиях не должна превышать 0,10 для мутных и 0,05 м/с для цветных вод.

6.4. КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ СО СЛОЕМ ВЗВЕШЕННОЙ КОНТАКТНОЙ СРЕДЫ

Встроенная в горизонтальный отстойник камера хлопьеобразования со слоем взвешенной контактной среды (рис.6.4, б), исследованная И.М. Миркисом, имеет вертикальные стенки, что значительно упрощает компоновку сооружений.

Слой взвешенной контактной среды должен быть не менее 3 м, длительность пребывания воды в камере – не менее 20 мин. При осветлении воды рекомендуется принимать такие средние скорости восходящего потока в верхнем сечении, мм/с: для воды средней мутности ($50-250 \text{ мг/дм}^3$) 0,65-1,6, для мутных вод ($250-1500 \text{ мг/дм}^3$) – 0,8-2,2.

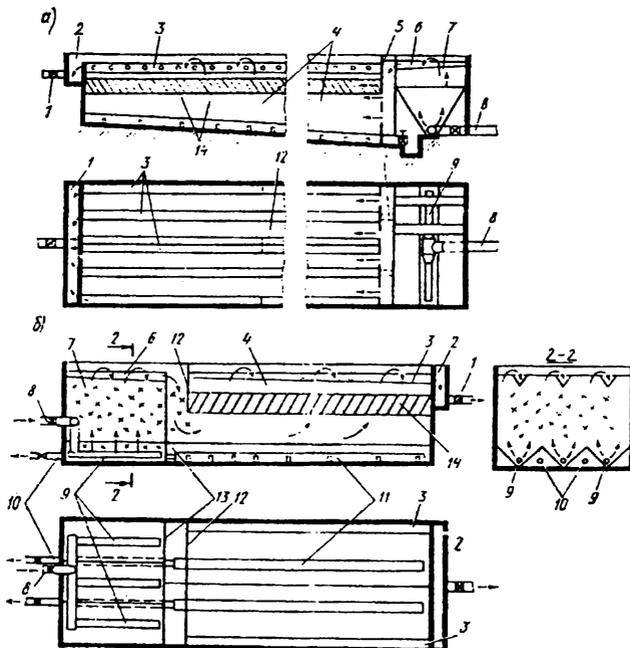


Рис. 6.4. Камеры хлопьеобразования вихревого типа (а) и со слоем взвешенной контактной среды (б), встроенные в горизонтальный отстойник:

1, 8 – отвод осветлённой и подача исходной воды; 2 – боковой водосборный канал; 3 – лотки децентрализованного отбора осветлённой воды; 4 – зона осветления воды; 5 – дырчатая перегородка; 6 – лотки для сбора и отведения воды; 7 – камера хлопьеобразования; 9 – перфорированные водораспределительные трубы; 10 – сброс осадка из отстойника; 11 – перфорированные короба для сбора и удаления осадка из отстойника; 12 – струенаправляющая перегородка; 13 – затопленный водослив, отделяющий камеру хлопьеобразования от отстойника; 14 – тонкослойные модули.

Обрабатываемая вода по площади камеры распределяется перфорированными трубами через отверстия, направленные под углом 45°.

Скорость движения воды в таких трубах должна составлять 0,5-0,6 м/с, площадь отверстий в их стенках – 30-40% площади сечения самих труб, диаметр отверстий должен быть не менее 25 мм. Отводят воду из камеры в отстойники со скоростью 0,1 м/с для мутных вод и 0,05 м/с для цветных.

С целью создания благоприятного режима осаждения взвеси на входе воды в отстойник устанавливают подвесную перегородку, погруженную на $\frac{1}{4}$ высоты отстойника. Скорость движения воды между стенкой и перегородкой не должна превышать 0,03 м/с.

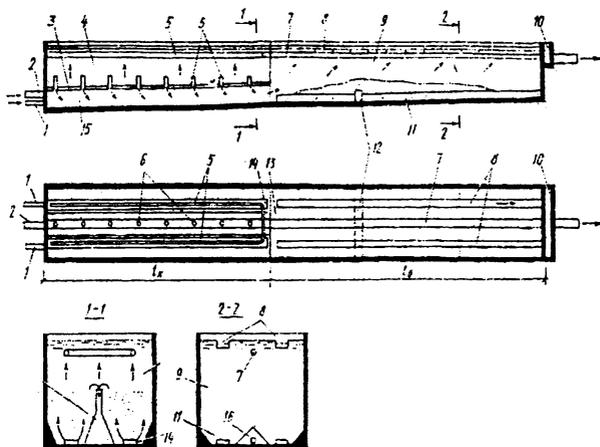


Рис. 6.5. Камера хлопьеобразования зашляпленного типа с центральной галереей:

1,2 – подача воды в зону взвешенного осадка и центральную галерею; 3,4 – зона взвешенного осадка и зона осветления воды; 5,7 – трубы для сбора и отведения осветлённой воды из камеры хлопьеобразования; 6 – шламоотводные патрубки; 8 – перфорированный желоба для сброса и отведения воды из отстойника; 9 – зона осветления воды в отстойнике; 10 – боковой сборный карман; 11 – перфорированные короба для сброса осадка; 12 – центральный шламоотводящий карман; 13 – водонаправляющие щиты для равномерного распределения воды по ширине зоны осветления; 14 – водо распределительные короба; 15 – центральная галерея; 16 – отвод осадка из центрального шламоотводящего канала.

При проектировании и расчете вертикальной камеры хлопьеобразования, исходя из производительности технологических сооружений определяют объем камеры и площадь ее верхней части (аналогично, как и при расчете перегородчатых камер хлопьеобразования), задавая длительность пребывания воды в камере и скорость отбора воды на основе опыта эксплуатации аналогичного оборудования. Затем определяют габариты широкой и узкой частей камеры, вычисляют их объемы, суммируют и проверяют фактическое время пребывания воды в камере. Проектирование и

При проектировании и расчете вертикальной камеры хлопьеобразования, исходя из производительности технологических сооружений определяют объем камеры и площадь ее верхней части (аналогично, как и при расчете перегородчатых камер хлопьеобразования), задавая длительность пребывания воды в камере и скорость отбора воды на основе опыта эксплуатации аналогичного оборудования.

расчет камер хлопьеобразования с вертикальными стенками упрощается, поскольку они имеют одинаковое сечение по высоте.

Разновидностью камер хлопьеобразования со слоем взвешенной контактной среды является предложенная Г.Д. Павловым камера хлопьеобразования с центральной галереей (рис. 6.5).

Поступающая в отстойник вода разделяется на два потока: половина воды проходит через слой взвешенной контактной среды в камере, осветляется и отводится в сборный торцевой канал отстойника, другая половина проходит через центральную галерею камеры, в которую поступает избыток взвешенной контактной среды, и также отводится в отстойник.

А.В. Гольберштадтом разработана гравийная камера хлопьеобразования с псевдооживленной контактной зернистой загрузкой из антрацита, керамзита, песка и других материалов. Эффективны также гравийная камера хлопьеобразования, совмещённая с тонкослойным отстойником (рис.6.6) и безгравийная камера хлопьеобразования с загрузкой из вспененных гранул полистирола. В гравийной камере хлопьеобразования с псевдооживленной загрузкой высота её слоя в статических условиях составляет 0,3-0,5 м. При выходящей скорости потока воды 2,6-4,0 мм/с она расширяется на 10-15%. Слой гравия крупностью 5-20 мм, высотой 0,3-0,4 м размещается под контактным слоем загрузки.

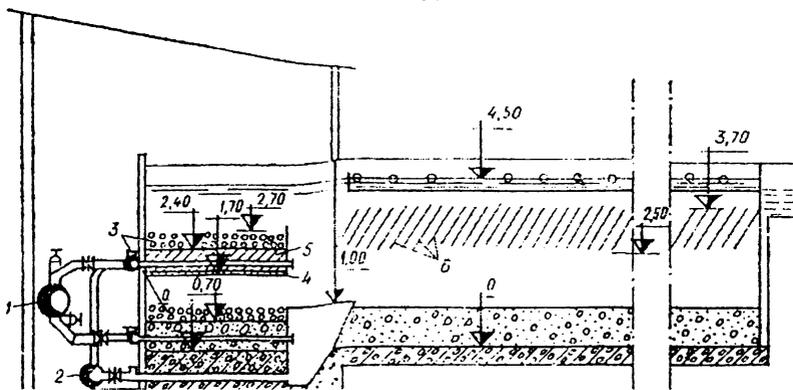


Рис. 6.6. Тонкослойный отстойник со встроенной гравийной камерой хлопьеобразования.

1 – трубопровод подвода воды в камеру; 2 – выпуск воды из камеры; 3 – гравийная загрузка; 4 – металлическое дно с отверстием для выпуска воды; 5 – металлические призмы, устанавливаемые основанием вниз между перфорированными трубами; 6 – тонкослойные отстойные блоки.

В безгравийной камере слой гранул полистирола крупностью 0,5-4,5 мм высотой около 1 м удерживается в её верхней части дренажной сеткой. Выходящая скорость движущейся воды в камере

составляет 5-6 – мм/с.

При использовании контактных камер хлопьеобразования на 20-25% снижается расход коагулянта и примерно в 1,5 раза уменьшается время осветления воды в отстойниках. Нагрузка на единицу объёма камеры увеличивается в 3-4 раза.

Высокие показатели качества воды достигаются при использовании камер хлопьеобразования с воздушным перемешиванием, разработанных Ростовской-на-Дону академией строительства. Воздух в камеру хлопьеобразования подаётся в пузырьковом режиме, который наблюдается при малых значениях воздуха (не более 5-10% расхода обрабатываемой воды) и характеризуется существенным расстоянием между всплывающими пузырьками. Перемешивание воды в камере осуществляется за счёт возникновения локальных турбулентностей, создаваемых пузырьками воздуха при их подъёме в массе воды из-за естественной разности плотностей воды и воздуха.

Воздушное перемешивание применяется при проектировании новых и переоборудовании встроенных в отстойники или примыкающих к ним камер хлопьеобразования вихревого или перегородчатого типов (рис. 6.7, а, б).

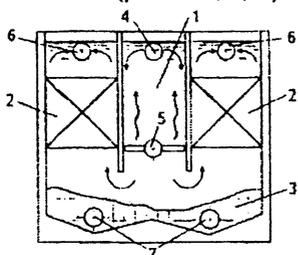


Рис. 6.7, а. Тонкослойный отстойник с камерой хлопьеобразования с воздушным перемешиванием.

1 – зона хлопьеобразования с воздушным перемешиванием; 2 – тонкослойный блок; 3 – зона накопления осадка; 4 – водораспределительная система; 5 – воздушнораспределительная система; 6 – сборная система осветления воды; 7 – напорная система гидравлического удаления осадка.

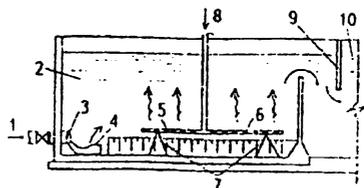


Рис. 6.7, б. Переоборудование камеры хлопьеобразования со слоем взвешенной контактной среды в камеру с воздушным перемешиванием.

1 – подача исходной воды с реагентами после смесителя; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – распределительный коллектор; 4 – окна для выхода воды; 5 – центральный коллектор воздушнораспределительной системы; 6 – перфорированные трубопроводы воздушнораспределительной системы; 7 – опоры; 8 – подача воздуха; 9 – отбойная стенка; 10 – отстойник.

По эффективности воздушное перемешивание значительно превышает гидравлическое и близко к механическому. Отстойные сооружения, оборудованные камерой хлопьеобразования с воздушным перемешиванием, по производительности в 1,5-2 раза и более превышают аналогичные сооружения с камерами хлопьеобразования гидравлического перемешивания.

Для обработки маломутных цветных вод НИИ АКХ (Санкт-Петербург) предложена камера хлопьеобразования зашламленного типа с рециркуляцией шлама (рис.6.8). Поступающая на обработку вода подаётся в нижние части секций камеры со скоростью 1 м/с и, направляясь в центрально расположенные эжектируемые вставки, засасывает воду с осадком из объема секции. Таким образом, в каждой секции происходит непрерывное движение контактной среды, обеспечивающее слипание агрегативно неустойчивых примесей. Передвигаясь из камеры в камеру в течение 20-30 мин., вода направляется в отстойник.

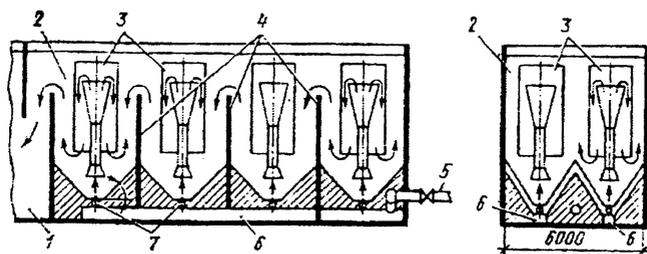


Рис. 6.8. Камера хлопьеобразования с рециркуляторами:

1 – отстойник; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – рециркуляторы взвешенного осадка; 4 – перегородки, делящие объём камеры на параллельно работающие секции; 5 – подача исходной воды в камеру; 6 – распределительная труба с соплами (7).

6.5. КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ ВОДОВОРОТНОГО ТИПА, ВСТРОЕННЫЕ В ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

Водоворотные камеры хлопьеобразования (рис. 6.9) представляют собой цилиндрические металлические или железобетонные резервуары, в верхнюю часть которых поступает вода из смесителя по трубопроводу, снабженному на конце соплами-насадками. Вода, выходя из сопел по касательной со скоростью 2-3 м/с, движется вдоль стенок камеры, приобретая вращательное (водоворотное) движение. Благодаря возникающему при этом равномерному перемешиванию создаются благоприятные условия для хлопьеобразования.

Сопла располагают на расстоянии $0,2d_{кх}$ от стенки камеры ($d_{кх}$ - диаметр камеры хлопьеобразования) на глубине 0,5 м от поверхности воды. Потеря напора h при указанной выше скорости выхода воды из сопла и коэффициенте сопротивления $k = 1,18$ определяется по формуле (см. п. 5.3.).

Чтобы погасить вращательное движение воды перед поступлением ее в отстойник, которое мешает отстаиванию взвеси, внизу

центральной трубы устраивают специальный гаситель. Он представляет собой крестообразно соединенные перегородки, обычно из досок высотой около 0,8 м, поставленных на ребро, с размером ячеек 0,5×0,5 м.

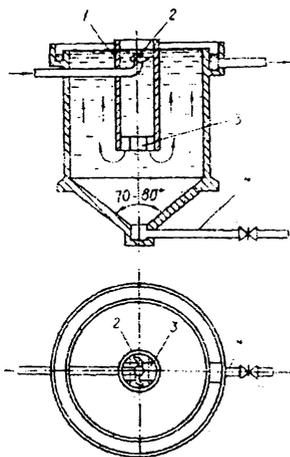


Рис. 6.9. Вертикальный отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования:
1 – камера хлопьеобразования;
2 – сопла; 3 – гаситель; 4 – трубопровод для выпуска осадка.

Объем водоворотной камеры хлопьеобразования определяется исходя из количества воды, пребывающего в ней в течение 15-20 мин; высота ее должна составлять 3,5-4 м (0,9 высоты зоны осаждения вертикального отстойника).

Площадь встроенной в отстойник водоворотной камеры хлопьеобразования F_k определяют по формуле

$$F_k = \frac{qt}{60HN},$$

где q – расчетный расход воды, м³/ч; t – длительность пребывания воды в камере хлопьеобразования, мин; H – высота камеры хлопьеобразования, м; N – расчетное число отстойников на станции.

Определив необходимый объем камеры и зная ее высоту, можно найти диаметр камеры

$$d_k = 1,13\sqrt{F_k}.$$

При количестве встроенных в отстойники камер хлопьеобразования менее шести предусматривают одну резервную.

Применяют водоворотные камеры хлопьеобразования обычно на станциях водоподготовки небольшой производительности.

6.6. МЕХАНИЧЕСКИЕ КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

В механических камерах хлопьеобразования (флокуляторах), применяющихся при обработке мутных вод на мощных станциях водоподготовки, когда по условиям их расположения нерационально использовать другие типы камер, перемешивание осуществляется лопастными или пропеллерными мешалками с электроприводом, вращающимися вокруг горизонтальных или вертикальных осей. Мешалка может иметь одну или несколько лопастей.

Распространение получают флокуляторы с пропеллерными и

лопастными мешалками, вращающимися вокруг вертикальных и горизонтальных осей (рис. 6.10).

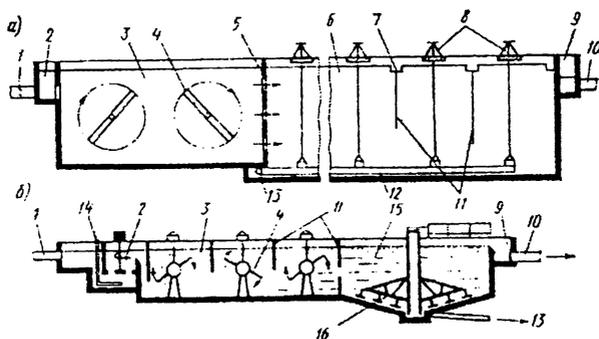


Рис. 6.10. Флокулятор, совмещённый с секционным горизонтальным (а) и радиальным (б) отстойниками:

1, 10 – подача и отвод воды; 2 – механический смеситель; 3 – камера флокулятора; 4 – мешалка на горизонтальной оси; 5 – дырчатая перегородка; 6 – секционный горизонтальный отстойник; 7 – поперечные сборные желоба; 8 – штурвалы управления донными клапанами; 9 – боковой сборный канал; 11 – вертикальные перегородки, делящие объем отстойника на секции; 12 – гидравлическая система сброса и удаления осадка; 13 – отвод осадка; 14 – ввод реагента; 15 – радиальный отстойник; 16 – вращающаяся ферма со скребками для удаления осадка.

Скорость движения воды в них уменьшается по ходу потока и принимается от 0,5 до 0,1 м/с, а длительность пребывания воды – 30-60 мин. (до 60 мин – при умягчении воды реагентными методами). Структура градиента скорости должна быть убывающей по ходу воды от 100 до 25-50 с⁻¹ в последней секции. Величины критерия Кэмпбелла при обработке вод разного состава приведены в табл. 6.1. Эти камеры (в плане) устраивают в виде квадратного, круглого или прямоугольного железобетонного резервуара с двумя-пятью парами мешалок. Очень часто их совмещают с горизонтальными отстойниками с разделяющей их вертикальной дырчатой перегородкой.

Таблица 6.1. Величины критерия Кэмпбелла при обработке вод разного состава

Схема очистки воды	Критерий GT
Маломутные цветные воды, рН=5,5-6,6, обрабатываемые сульфатом алюминия	40·10 ³ – 55·10 ³
Маломутные цветные воды, рН=4,5-5,6, обрабатываемые хлорным железом	100·10 ³ – 150·10 ³
Маломутные цветные воды, рН=5,5-6,8, обрабатываемые ПАА	200·10 ³ – 300·10 ³
Воды средней мутности и средней цветности, рН=6-7, обрабатываемые сульфатом алюминия	25·10 ³ – 36·10 ³
Воды средней мутности, рН=6,6-7,2, обрабатываемые хлорным железом	35·10 ³ – 50·10 ³

Преимуществом механических камер хлопьеобразования по

сравнению с перегородчатыми являются: меньшая потеря напора, простота конструкции, возможность более совершенного регулирования процесса хлопьеобразования изменением числа оборотов лопастей, возможность последовательной работы нескольких камер хлопьеобразования, что весьма важно при применении смеси реагентов.

Объем и площадь механических камер хлопьеобразования определяют по формулам, применяющимся при расчете перегородчатых камер.

Длина камеры L , м, определяется по зависимости

$$L = \alpha H n,$$

где α – эмпирический коэффициент, принимаемый 1,0-1,5; H – глубина воды в камере, м; n – число осей с лопастями (принимается 2-5).

Ширину камеры B , м, вычисляют по формуле

$$B = \frac{W_k}{LH}.$$

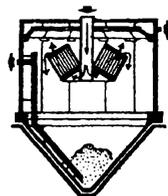
Скорость горизонтального движения воды в камере v_{cp} составляет

$$v_{cp} = \frac{1000L}{60t}.$$

В зависимости от качества исходной воды и дозы коагулянта скорость вращения лопастных мешалок принимается в пределах 0,40-0,55 м/с.

Глава 7.

ОСАЖДЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ



7.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ

Основная масса взвешенных в воде примесей и скоагулированных хлопьев удаляется *отстаиванием*.

Различают взвесь *монодисперсную*, состоящую из частичек примерно одинаковой гидравлической крупности, и *полидисперсную*, состоящую из частичек различного размера, гидравлическая крупность которых изменяется в значительных пределах.

В неподвижной жидкости на осаждающуюся частичку действует:

- 1) сила гравитации G ее в воде

$$G = (\rho_{ч} - \rho_{ж})gm,$$

где $\rho_{ч}$ и $\rho_{ж}$ – соответственно плотности частички и жидкости; g – ускорение свободного падения; m – масса частички;

- 2) сила сопротивления жидкости, зависящая от ее вязкости, массы, размера и формы частички, скорости ее осаждения.

Для монодисперсных шарообразных частичек диаметром d скорость свободного осаждения v в неподвижной воде выражается уравнением

$$v = \frac{3}{4}g \frac{\rho_{ч} - \rho_{ж}}{K_{ш}} d,$$

где $K_{ш}$ – коэффициент сопротивления осаждающейся шарообразной частички, зависящий от числа Рейнольдса и являющийся его функцией:

$$Re = \frac{vd\rho_{ж}}{\mu},$$

где μ – коэффициент динамической вязкости жидкости.

Для очень мелких частичек, осаждающихся с небольшой скоростью (при $Re < 2$), когда на сопротивление движению частички влияет в основном вязкость жидкости, коэффициент сопротивления равен

$$K_w = \frac{24}{Re}$$

Скорость свободного падения такой шарообразной частички описывается уравнением Стокса

$$v = \frac{1}{18} \frac{\rho_{ч} - \rho_{ж}}{\mu} g d^2.$$

Коэффициент сопротивления при $2 < Re < 500$ выражается формулой

$$K_w = \frac{18,5}{Re^{0,6}}.$$

С увеличением скорости осаждения и размеров частичек ($Re > 500$) при обтекании их жидкостью возникает сильная турбулентность; на коэффициент сопротивления силы вязкости влияют незначительно, он становится независимым от числа Рейнольдса и равным 0,4. Уравнение скорости свободного падения шарообразной частички в этих условиях записывается так:

$$v = 3,3g(\rho_{ч} - \rho_{ж})d.$$

На скорость осаждения частичек значительно влияет плотность частичек твердой фазы. Плотность некоторых веществ, содержащихся в природной воде в виде взвесей, а также гидроксидов, образующихся в процессе гидролиза коагулянтов, приведена ниже:

Вещество	Плотность, г/см ³
Кварцевый песок (SiO_2)	2,65
Глина ($xAl_2O_3 \cdot ySiO_2 \cdot zH_2O$)	2,60
Оксид алюминия (Al_2O_3)	4,0
Гидроксид алюминия ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$)	3,4
Оксид железа (Fe_2O_3)	5,12
Гидроксид железа ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$)	4,09-4,28

Отсюда следует, что частички, образующиеся в воде при коагулировании гидроксидов, должны оседать быстрее, чем природные взвеси (песок, глина) той же крупности (рис. 7.1).

Скорость осаждения в воде нешарообразных частичек по сравнению с шарообразными значительно меньше. В связи с тем, что на коэффициент сопротивления влияет форма частичек, в уравнение коэффициента сопротивления шарообразной частички вводится коэффициент формы

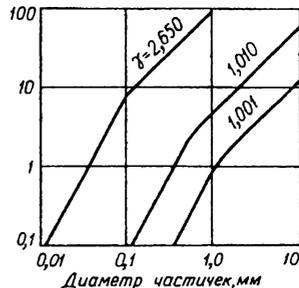


Рис. 7.1. Зависимость скорости осаждения в воде с температурой 10 °C монодисперсных шарообразных частичек взвеси различной плотности от их диаметра

$$K_{ш} = K_{\phi} \cdot K_H,$$

где K_H – коэффициент сопротивления при осаждении нешарообразной частички; K_{ϕ} – коэффициент формы, равный для окатанного песка 0,85-0,87, для остроугольного песка – 0,67-0,75, для дробленого антрацита – 0,58-0,70.

Большинство взвесей, встречающихся в природной воде, а также образующихся в процессе очистки, неоднородны по форме, размерам и массе. Поэтому характер процесса осаждения таких полидисперсных взвесей устанавливается экспериментально на основании графика, где на оси абсцисс откладывают время осаждения, а

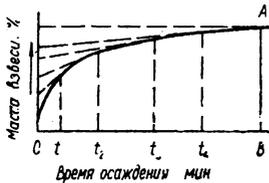


Рис. 7.2. Осаждение полидисперсной системы

на оси ординат – массу выпавшей взвеси. Проводя касательные к отдельным точкам кривой и продлевая их до пересечения с осью ординат, получают массу полностью осевших к определенному времени фракций. Общую массу осевшей взвеси определяют по высоте перпендикуляра АВ, опущенного на ось абсцисс (рис. 7.2).

Кривые осаждения взвеси характеризуют ее гранулометрический состав и поведение при отстаивании. Чем круче начальный участок кривой, тем больше крупность и неоднородность взвеси и тем скорее она осаждается. При более пологой кривой взвесь более однородна и осаждается медленнее.

Такие кривые (рис. 7.2) могут быть получены при помощи специальных приборов: седиментометра Н.А. Фигуровского, интегратора взвеси и др.

Для этого исследуемую воду помещают в стеклянный цилиндр, устанавливаемый под коромысло седиментометра или торсионных весов. Затем в цилиндр на определенную глубину от поверхности воды опускают чашечку, подвешенную под коромысло весов или седиментометра на тонких нитях, и включают секундомер. Через определенные интервалы времени (сначала через каждые 3-5, а затем через каждые 15-30 мин) записывают показания весов. После того как осаждение взвеси практически прекратится и приращение массы осадка в чашечке за 15 мин будет меньше одного деления на шкале весов, чашечку осторожно извлекают из цилиндра, осадок из нее переносят в заранее взвешенный бюкс, высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы и взвешивают.

Массу этого осадка принимают равной 100%. Затем, определив массу осадков всех ранее произведенных отсчетов, выражают ее в процентах от исходной концентрации. Экспериментальные

точки наносят на график и по ним строят кривую осаждения взвеси.

На рис. 7.3 приведены кривые осаждения взвеси, полученные при обработке воды $Al_2(SO_4)_3$ и различными дозами АК (температура воды $20^\circ C$), из которых следует, что добавки АК позволяют в достаточно широких пределах регулировать седиментационные свойства коагулированной взвеси. Введение АК значительно увеличивает скорость накопления осадка, особенно в начальный период осаждения. Относительно низкое содержание мелких хлопьев усиливает конечный эффект осветления воды. Так, масса частичек с гидравлической крупностью больше $0,15 \text{ мм/с}$ возрастает при добавке 3% АК в 20-25 раз по сравнению с одним коагулянтом, при 5% АК – в 30, при 10% АК – в 40 раз.

Время осаждения t зависит от высоты h слоя воды. Разделив эту высоту на время, соответствующее определенному проценту выпавшей взвеси (t_1, t_2 и т.д.), находят так называемые «процентные» скорости и выпадения взвеси:

$$u_1 = \frac{h}{t_1}; \quad u_2 = \frac{h}{t_2} \quad \text{и т. д.}$$

На основании исследования многих кривых в координатах «скорость осаждения – эффект осветления» разработана методика, позволяющая сравнивать способность различных вод к осветлению. По этой методике определяют процент выпавшей взвеси (рис. 7.4) при скоростях осаждения $0,2 \text{ (B)}$ и $1,2 \text{ мм/с (A)}$. Первый показатель отвечает пребыванию воды в отстойнике в течение 6 ч, а второй – 1 ч; глубина отстойника принята равной 4 м.

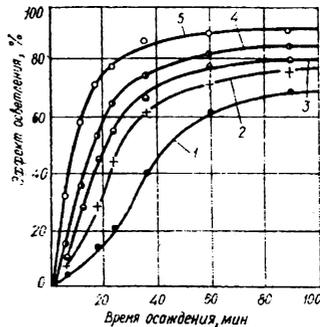


Рис. 7.3. Кинетические кривые осаждения скоагулированной взвеси (доза коагулянта 50 мг/дм^3) при значениях $D_{AK}/D_{K.}$, %: 1 – 0; 2 – 1.5; 3 – 3; 4 – 5; 5 – 10.

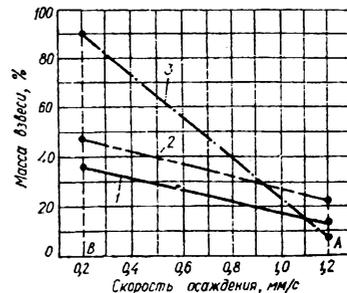


Рис. 7.4. Графическая зависимость показателя осаждаемости взвеси для разных вод: 1 – 3 – показатели осаждаемости взвеси A/B соответственно равны 12/35; 22/47; 7/89

Условное обозначение A/B , называемое *показателем осаждаемости взвеси*, позволяет построить график, характеризующий взвесь данной воды: пологие кривые свидетельствуют о преобладании крупных фракций, кривые с крутым наклоном указывают на значительное количество мелких фракций.

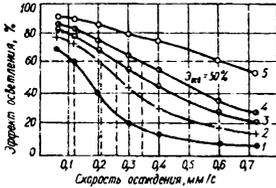


Рис. 7.5. Зависимость скорости оседания взвеси (доза коагулянта — 50 мг/л) при значениях $D_{\text{AK}}/D_{\text{Ю}}$ %: 1 — 0; 2 — 1,5; 3 — 3; 4 — 5; 5 — 10.

Применение флокулянтов, приводя к общему укрупнению хлопьев и обеспечивая большую однородность взвеси, делает эти кривые более пологими (рис. 7.5).

Пользуясь процентными скоростями выпадения взвеси, получают данные для проектирования отстойников. Графики строят на основе экспериментальных данных, полученных методом технологического моделирования процесса оседания.

Основной методики моделирования является подобие кривых выпадения взвеси, получаемых при различных высотах слоя воды:

$$\frac{t_H}{t_M} = \frac{h_H}{h_M},$$

где t_M , t_H и h_M , h_H — соответственно время и высота слоя воды (осаждения взвеси) при моделировании и в натуре.

В случае коагулированной взвеси, агломерирующей в процессе осадения, вышеуказанное соотношение может не соблюдаться. Как показывают исследования, кривые осадения такой взвеси при различных высотах осадения также можно рассматривать как подобные, если условие подобия выражено соотношением

$$\frac{t_H}{t_M} = \left(\frac{h_H}{h_M} \right)^n$$

Показатель степени $n < 1$ отражает влияние агломерации хлопьев в процессе осадения. Его значение рекомендуется принимать в зависимости от степени агломерации частичек до осадения в пределах 0,2-0,5; для крупных, сформированных хлопьев $n = 0,5$.

Анализ данных рис. 7.5 показывает, что определенный эффект осветления воды с добавкой АК достигается при больших фиктивных скоростях осадения взвеси. Это свидетельствует о том, что при использовании АК необходимая степень осветления воды может быть получена при меньшей длине отстойника, чем в случае применения одного коагулянта. Если же длина отстойника остается такой же, как и при обработке воды только коагулянт, то введени-

ем АК можно увеличить его производительность без снижения качества осветленной воды.

Главная задача при проектировании отстойников – обеспечение осаждения в них основной массы взвеси, содержащейся в обрабатываемой воде.

В практике водоподготовки для выделения из воды взвешенных веществ перед поступлением ее на фильтры применяют *горизонтальные, вертикальные и радиальные* отстойники, названные так по направлению в них потока воды.

Содержание взвешенных веществ в воде после отстойников не должно превышать 8-15 мг/дм³.

7.2. ОТСТОЙНИКИ ОСВЕЩЕНИЯ ВОДЫ

Горизонтальные отстойники (рис. 7.6) представляют собой прямоугольные резервуары, выполненные обычно из железобетона и оборудованные водораспределительными и водосборными устройствами, трубопроводами для подвода осветляемой воды и отвода осветленной и устройствами для периодического удаления выпавшего осадка.

Горизонтальные отстойники часто совмещают с камерами хлопьеобразования, примыкающими к ним или встроенными в них (рис. 6.6). Их можно проектировать одноэтажными и двухэтажными с торцевым или рассредоточенным по площади сбором осветленной воды, без поворота или с поворотом потока воды в горизонтальной или вертикальной плоскости (рис. 7.6). Преимущество двухэтажных отстойников заключается в значительно меньших площадях застройки, объеме и расходе бетона на их строительство, а большой недостаток их – необходимость в дополнительном подъеме воды. Кроме того, требуются особые гидрогеологические условия площадки, позволяющие производить большие заглубления. Применяют горизонтальные отстойники на станциях хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения производительностью более 30 тыс. м³/сут при удалении из воды прокоагулированной взвеси и

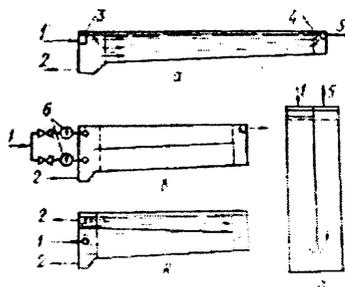


Рис. 7.6. Схемы движения воды в горизонтальных отстойниках:

а – одноэтажном прямооточном (разрез); б – двухэтажном прямооточном (разрез); в – двухэтажном с поворотом потока (разрез); г – одноэтажном с поворотом потока (план); 1 – подвод воды; 2 – отвод осадка; 3, 4 – соответственно распределительный и сборный водосливы; 5 – отвод отстаиванной воды; 6 – водомеры.

любой производительностью – при удалении некоагулированной взвеси.

Вода поступает в отстойник с торцевой стороны. Для более равномерного распределения воды по живому сечению водораспределительные и водосборные устройства отстойников устраивают в виде поперечных водосливов, дырчатых перегородок и дырчатых желобов (рис. 7.7). Наиболее эффективны дырчатые перегородки, которые располагают на расстоянии 1-2 м от торцевой стенки. Площадь отверстий в дырчатых перегородках выбирают так, чтобы скорость движения воды в них была меньше той скорости, при которой начинается разрушение хлопьев скоагулированной взвеси (не более 0,5 м/с). В нижней части перегородки на 0,3-0,5 м выше зоны накопления и уплотнения осадка отверстия не предусматриваются.

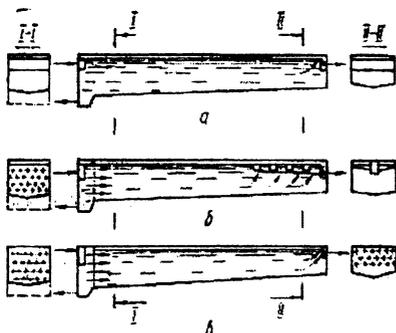


Рис. 7.7. Схемы водораспределительных и водосборных устройств отстойников: а – поперечный водослив; б – дырчатые перегородки; в – дырчатые желоба

Для уменьшения длины зоны повышенной турбулентности, образующейся за дырчатой перегородкой, в начале отстойника целесообразно экранировать выход из отверстий перегородки сферическими или коническими успокоителями (рис. 7.8). Высоту отстойника в зависимости от высотной схемы станции принимают равной 3-5 м.

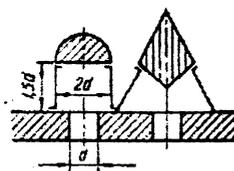


Рис. 7.8. Экранирование отверстий в дырчатых перегородках.

По высоте отстойник разделяется на две зоны: осадения и накопления и уплотнения осадка.

Если перерыв в подаче воды недопустим, то отстойников должно быть не менее двух, чтобы обеспечить отстаивание воды при отключении одного отстойника.

Для повышения равномерности распределения воды в поперечном сечении отстойника, кроме установки дырчатых перегородок, каждый отстойник делят вдоль легкими перегородками с таким расчетом, чтобы ширина каждого коридора не превышала 6 м (в зависимости от шага колонн, поддерживающих покрытие). В связи с тем, что осадок распределяется по дну отстойника неравномерно и большая часть его скапливается в первой половине, объем осадоч-

ной части отстойника в начале делают больше, чем в конце. Для этого, а также для периодического выпуска осадка при смыве его водой из шланга дно горизонтального отстойника должно иметь продольный уклон 0,02 в направлении, противоположном движению воды, и поперечные уклоны в каждом коридоре не менее 0,05. При гидравлическом способе удаления осадка продольный уклон дна отстойника следует принимать не менее 0,005. Механические средства удаления осадка из горизонтальных отстойников устраивают при значительной мутности исходной воды или частом повторении периодов повышенной мутности воды в течение года. В качестве механических средств удаления осадка применяют скребковые конвейеры, скребающие осадок в приямок, откуда его откачивают гидрозлеваторами или центробежными насосами.

Другим способом удаления осадка является выпуск его через сборную систему из перфорированных труб или каналов, укладываемых по дну отстойника. При открывании задвижки осадок под давлением выжимается через отверстия и отводится в канализацию. Устье труб или каналов располагают в начале отстойника, где скапливается наибольшее количество осадка.

При ширине коридора отстойника не более 3 м осадок из этого коридора можно удалять одной дырчатой трубой или дырчатым каналом, прокладываемым по продольной оси коридора; при большей ширине коридора нужны две трубы. Трубы с отверстиями, расположенными по бокам их вертикальной оси, должны выполняться из нержавеющей сталей.

Вертикальный отстойник (рис. 6.9) представляет собой круглый или квадратный (в плане) резервуар с камерой хлопьеобразования водоворотного типа в центральной трубе и с конусным днищем для накопления и уплотнения осадка. Он оборудуется также трубопроводом для подачи осветляемой воды, желобами для сбора осветленной воды, а также трубопроводом для периодического выпуска осадка или опорожнения отстойника.

В связи с широким использованием в водоподготовке осветлителей со слоем взвешенного осадка сфера применения вертикальных отстойников значительно сузилась. Их применяют на станциях реагентной очистки воды производительностью до 5 тыс. м³/сут.

Осветляемая вода в вертикальных отстойниках движется снизу вверх. Взвесь оседает в восходящем потоке за счет разницы между скоростями оседания частичек и движения воды. Высота зоны осаждения в вертикальных отстойниках в зависимости от коэффициента, учитывающего его объемное использование, составляет 4–5 м, отношение диаметра к высоте – 1,0;1,5.

Сбор осветленной воды в вертикальных отстойниках предусматривают с периферийными и радиальными желобами. Сечение желобов рассчитывают при скорости движения воды 0,5-0,6 м/с. Для более равномерного распределения воды по всему сечению отстойника целесообразно отбирать ее через затопленные отверстия в желобах или через треугольные вырезы в их кромках; сечение их можно определить, принимая скорость движения воды 1 м/с, диаметр – 20-30 мм.

Накапливающийся в нижней осадочной части отстойника осадок периодически удаляют самотеком (под давлением столба воды), открывая задвижку на выпускной трубе диаметром 150-200 мм. Для этого угол между образующими конуса или наклонными стенками при коническом или пирамидальном днище отстойника должен составлять 70-80°. Если выпустить осадок самотеком невозможно, его отсасывают насосом. Период работы отстойника между сбросами осадка T и расход при этом воды $P_{ос}$ можно определить по формулам

$$T = \frac{W_{ос} N \delta}{q(C_{сп} - m)}; \quad P_{ос} = \frac{K_p W_{ос}}{q T_0} \cdot 100,$$

где $W_{ос}$ – объем осадочной части отстойника, м³; N – число отстойников, шт.; δ – средняя плотность осадка, г/м³; q – производительность отстойников, м³/ч; $C_{сп}$, m – соответственно содержание взвеси в поступающей и осветленной воде, мг/дм³; K_p – коэффициент разбавления осадка (принимают равным 1,2-1,5); T_0 – продолжительность работы отстойника между чистками, сут.

Выпуск осадка следует предусматривать без выключения отстойника. Период работы отстойника между сбросами осадка должен составлять не менее 6 ч. При содержании взвешенных веществ более 1000 мг/дм³ период его работы не должен превышать 24 ч.

Расчет вертикальных отстойников производят по скорости восходящего потока воды.

Суммарная площадь поперечного сечения отстойника состоит из площадей зоны осаждения и камеры хлопьеобразования. Площадь зоны осаждения F определяют по формуле

$$F = \frac{\beta q}{3,6 v_p N}$$

где v_p – скорость восходящего потока, мм/с; β – коэффициент объемного использования отстойника (принимают равным 1,3-1,5).

Площадь камеры хлопьеобразования F_K вычисляют по формуле, приведенной в п. 6.5.

Общая площадь отстойника $F_{общ} = F + F_K$; при этом необходи-

мо, чтобы площадь одного отстойника не превышала 100 м².

Диаметр отстойника D определяют по формуле

$$D = \frac{4F_{\text{общ}}}{\pi N}$$

Радиальные отстойники являются разновидностью горизонтальных и применяются для осветления воды, содержащей более 1 500 мг/дм³ взвешенных веществ. Они представляют собой круглые (в плане) резервуары, оборудованные подводящими и отводящими воду трубопроводами, водораспределительными и водосборными устройствами, а также вращающимися фермами со скребками для удаления осадка (рис. 7.9).

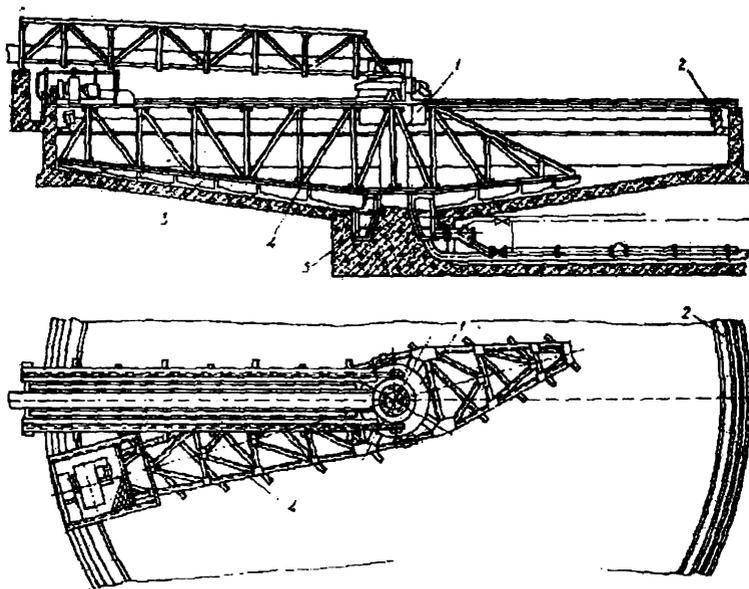


Рис. 7.9. Схема радиального отстойника.

Вода подается по центральной трубе, проходит по распределительным устройствам 1, выполненным в виде цилиндрической дырчатой перегородки, и движется в радиальном направлении от центра к периферийному желобу 2, из которого отводится по трубам. Выпавший осадок сгребаются скребками 3, прикрепленными к медленно вращающейся (1,5 об/ч) ферме 4, в приямок 5, а из него периодически удаляется специальными насосами.

Площадь F радиальных отстойников рассчитывают по формуле

$$F = 0,2 \left(\frac{q}{u_0} \right)^{1,07} + f,$$

где q – расчетный расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; f – площадь вихревой зоны (радиус ее принимают на 1 м большим радиуса водораспределительного устройства), м^2 ; u_0 – скорость осаждения взвеси, $\text{мм}/\text{с}$.

Сбор осветленной воды производят периферийным желобом с треугольными вырезами или затопленными отверстиями.

Спиральные отстойники представляют собой круглые (в плане) сооружения (типа радиальных отстойников), в которых установлены спиральные направляющие перегородки, удлиняющие путь движения воды.

На очистных сооружениях малой производительности применяются *отстойники с небольшой глубиной осаждения взвеси*. Их выполняют в виде горизонтальных отстойников малой длины или в виде круглых в плане многоярусных отстойников.

К отстойникам с малой глубиной осаждения относятся тонкослойные отстойники. Схема такого отстойника приведена на рис. 7.10.

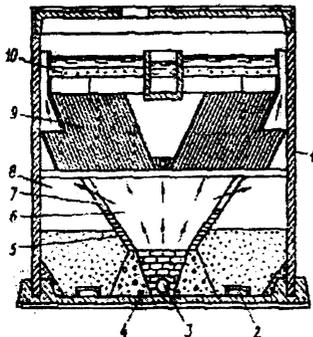


Рис. 7.10. Схема тонкослойного отстойника:

- 1 – корпус;
- 2 – сборные короба;
- 3 – труба для подвода осветляемой воды;
- 4 – камера с гравийной загрузкой;
- 5 – перегородки;
- 6 – зона осветления воды;
- 7 – окна;
- 8 – зона уплотнения осадка;
- 9 – многослойная загрузка;
- 10 – трубы для сбора осветленной воды

Осветляемая вода по трубе 3 поступает в гравийную камеру 4 и поднимается в зону осветления 6. Плавное расширение конструкции позволяет постепенно снижать скорость потока, в результате чего отделяются наиболее тяжелые частички взвеси. Частично осветленная вода направляется в многослойную загрузку 9, в которой обеспечивается ее ламинарное движение и осаждение из нее более мелких частичек. Выпавший осадок по загрузке сползает вниз, а осветленная вода, собираясь системой труб и каналов 10, подается потребителю.

По мере накопления взвесь из зоны осветления 6 через окна 7 перемещается в зону уплотнения осадка 8, из которой непрерывно или

периодически частично уплотненный осадок отводится сборными коробами 2 для дальнейшего уплотнения.

Отделяемая от уплотненного осадка вода поступает в многослойную загрузку, расположенную над зоной уплотнения, и вместе с основным потоком осветленной воды попадает в сборную систему.

Применяются также типы тонкослойных отстойников, в которых отстаивание взвеси происходит при движении воды по тонкослойным перегородкам полочного типа.

Тонкослойные отстойники позволяют значительно интенсифицировать процесс осаждения взвеси, на 60% уменьшить площадь застройки и на 25-30% повысить эффект осветления воды по сравнению с обычно применяемыми отстойниками.

Для реагентного и безреагентного осветления и обеззараживания воды поверхностных источников применяются водоочистные установки типа «Струя».

Схема реагентной обработки обеспечивает высокий эффект осветления при мутности исходной воды до 1000 мг/дм³ и любой цветности; безреагентная схема – при мутности 100 мг/дм³ и цветности до 35-40 град.

7.3. ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ В ГИДРО- И МУЛЬТИЦИКЛОНАХ

Применение *напорных гидроциклонов* (рис. 7.11) целесообразно и экономично в системах хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения для предварительного осветления поверхностных вод с высокой кратковременной мутностью. В них обеспечивается отделение песка и минеральных частичек диаметром более 0,10-0,15 мм, плотностью 1,2 г/см³ и более.

Как известно (см. п. 7.1), в неподвижной воде частички взвеси осаждаются под действием силы гравитации.

При вращении объема воды возникает центробежная сила, ускорение которой $a_{ц}$ составляет

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R},$$

где v – линейная скорость частички, м/с; R – радиус вращения частички, м.

Сущность осветления воды в гидроциклоне основана на отбрасывании частичек взвеси к периферии силой, равной разности значений центробежной силы для твердой и жидкой фаз, возникающей при вращении объема воды.

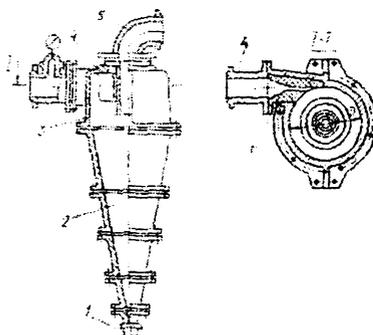


Рис. 7.11. Схема напорного гидроциклона: 1 – сменная насадка для выпуска осадка; 2 – конус; 3 – корпус; 4 – питающее отверстие; 5 – сливной патрубок; 6 – сменные вкладыши питающего отверстия; D – диаметр циклона.

При больших значениях v и малых R сила, действующая на частичку взвеси во вращающейся жидкости, будет значительно превосходить скорость их свободного осаждения. Взвесь из воды поэтому может быть выделена за меньшее время, чем в отстойниках. На этом принципе основано применение гидроциклонов, которые бывают *напорными* и *открытыми* (безнапорными).

Воду подводят в верхнюю часть гидроциклона тангенциально (рис. 7.11). Вращаясь, она движется к сливному патрубку 5, расположенному коаксиально корпусу гидроциклона в его центре. Взвесь отбрасывается к стенке гидроциклона и по ней опускается вниз, в конус 2. Через насадку в нижней части конуса взвесь непрерывно удаляется.

Если в одном аппарате установлен ряд гидроциклонов одинакового диаметра, то он называется *мультициклоном* (рис. 7.12).

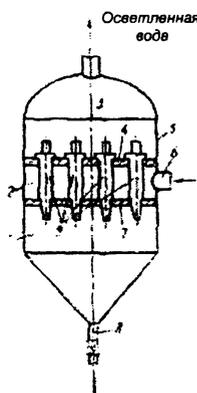


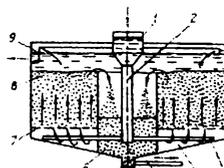
Рис. 7.12. Схема мультициклона.

Выполняют мультициклон в виде стального резервуара 5, разделяемого плитами 4 и 7 на три отсека. Загрязненную воду по трубопроводу 6 подают в средний отсек 2, откуда она поступает через питающие патрубки в гидроциклоны 9. После осветления вода из гидроциклонов через сливные патрубки отводится в верхний отсек 3, а из него подается потребителю. Осадок из конусных насадок гидроциклонов через нижний отсек 1 и грязевик 8 выпускается в канализацию.

Гидроциклоны по сравнению с отстойниками обладают следующими преимуществами: при одинаковом эффекте осветления воды удельная производительность гидроциклонов во много раз больше, чем отстойников; удаление шлама из гидроциклонов не требует специального оборудования; эффект осветления воды в гидроциклонах повышается с увеличением на них «нагрузки по воде», что позволяет обходиться без резерва на случай ремонта; гидроциклонные установки могут создаваться с подъемом воды на одну ступень.

Глава 8.

ОСВЕТЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ КОНТАКТНЫМ КОАГУЛИРОВАНИЕМ



8.1. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЕЙ

Впервые эффект осветления воды контактным коагулированием был установлен в 1930-1931 гг. на водопроводе г. Ростова-на-Дону профессором С.Х. Азерьером. В 1936 г. Е.Н. Тетеркиным (НИИ ВОДГЕО) была создана первая конструкция аппарата со взвешенной контактной средой, названная *диффузором-осветлителем*. Почти одновременно в США появилась конструкция осветлителя Спеллинга – «Пресипитатор».

В настоящее время созданы конструкции осветлителей, работающих более эффективно и производительнее, чем отстойники. Однако конструкция осветлителей со взвешенной контактной средой и их эксплуатация сложнее.

Надежную работу осветлителей можно обеспечить только тогда, когда содержащиеся в воде взвешенные и коллоидные частички неустойчивы и способны к слипанию, т. е. после химической обработки воды.

Осветлители применяют при содержании взвешенных веществ в исходной воде до 1500 мг/дм^3 при любой ее цветности и любой производительности водоочистных станций. Схема осветлителя со слоем взвешенной контактной среды приведена на рис. 8.1.

Воду, обработанную химическими реагентами, в осветлитель подают снизу. Равномерно распределяясь по его площади, она поднимается вверх, проходит через взвешенную контактную среду, состоящую из твердых частичек и осветляется.

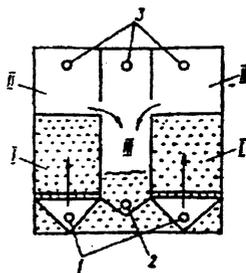


Рис. 8.1. Схема осветлителя со слоем взвешенной контактной среды:

- I – зона взвешенной контактной среды;
- II – зона осветления;
- III – зона накопления и уплотнения осадка;
- 1 – подача воды в осветлитель;
- 2 – отвод уплотнённого осадка;
- 3 – отвод осветлённой воды.

Частички контактной среды, располагаясь до $\frac{2}{3} - \frac{4}{5}$ высоты от низа осветлителя, поддерживаются во взвешенном состоянии гидродинамическим давлением восходящего потока и образуют с водой гетерофазную систему (псевдооживленный слой), над которой движется очищенная вода.

Твердые частички слоя, находясь постоянно в состоянии хаотического движения (циркуляции) и образуя местные сгущения и разрежения, представляют собой так называемый «кипящий слой». Однако в целом весь слой неподвижен и находится в состоянии динамического равновесия, которое поддерживается благодаря равенству скорости восходящего потока и средней скорости осаждения частичек.

Очень важным является то обстоятельство, что средняя скорость осаждения частичек во взвешенной контактной среде значительно меньше их гидравлической крупности. Это характерно для стесненного осаждения – взаимного гидравлического влияния частичек. Таким образом, проходя через слой взвешенной контактной среды, вода осветляется. Процесс осветления имеет физико-химическую природу, сущность его основана на явлении контактной коагуляции.

При работе осветлителя величина частичек взвешенной контактной среды постоянно изменяется. Происходит их сгущение вследствие слипания извлекаемых из воды примесей и разрежение под влиянием гидродинамического воздействия потока. Поэтому при стабильном составе комплекса взвешенных восходящим потоком жидкости твердых частичек высота их слоя с увеличением скорости потока растет, а с уменьшением скорости верхняя граница слоя снижается. При этом объемная концентрация твердой фазы в слое изменяется обратно пропорционально его высоте.

Поскольку при движении обработанной воды через взвешенную контактную среду в ней накапливаются загрязнения и объем слоя может увеличиваться, в современных конструкциях осветлителей предусмотрено непрерывное удаление избыточного осадка в осадкоуплотнитель, где он уплотняется перед выпуском в канализацию.

Осветленная вода через сборные желоба или трубы подается на фильтры.

Нормальная работа осветлителей достигается при сохранении постоянства расхода воды и температуры. Резкое повышение расхода воды приводит к размыву взвешенного слоя и выносу его частичек, изменение температуры – к образованию конвективных токов и к замутнению воды. Поэтому плавные колебания расхода воды и температуры допускаются соответственно не более $\pm 15\%$ и $\pm 1^\circ\text{C}$ от расчетных в течение часа.

8.2. СВОЙСТВА ВЗВЕШЕННОЙ КОНТАКТНОЙ СРЕДЫ

Расстояние между частичками во взвешенной контактной среде может составлять несколько миллиметров, в то время как большинство удаляемых из воды примесей имеет коллоидную или ионную степень дисперсности. Удаление примесей в условиях такой гетерофазной системы происходит в результате сорбции и адгезии. При этом коллоидные взвешенные примеси воды сближаются с частичками сорбента и под действием молекулярных сил прилипают к их поверхности или ранее осевшим на них частичкам примесей.

Свойства гетерофазной системы даже при небольшой объемной концентрации твердой фазы, составляющей 5-10%, значительно отличаются от свойств жидкой фазы. В гетерофазной системе скорость осаждения взвешенных частичек меньше, чем скорость падения отдельной частички в свободном объеме жидкости. Это объясняется более высокой вязкостью μ гетерофазной системы, которую можно вычислить по формуле

$$\mu_M = \mu_D \left[1 + 2C_0 \left(\frac{1+C_0}{1-C_0} \right)^2 \right],$$

где μ_D — динамическая вязкость жидкого компонента гетерофазной системы, $\text{м}^2/\text{с}$; μ_M — молярная вязкость; C_0 — объемная концентрация твердой фазы в системе, %.

Характер изменения вязкости гетерофазной системы с ростом объемной концентрации твердых частичек графически представлен на рис. 8.2.

Плотность, прочность на сжатие и скорость осаждения взвешенных частичек возрастают при совместной обработке воды солями алюминия и железа и при наличии в воде меха-

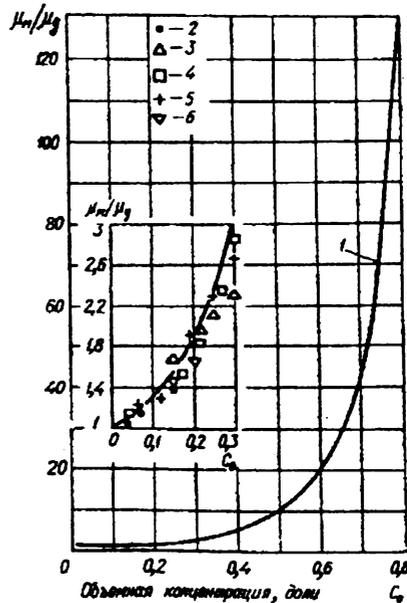


Рис. 8.2. Зависимость соотношения μ_M / μ_D от объемной концентрации C_0 твердых частичек, вычисленной по формуле, приведенной ниже (1) и по формулам: Эйнштейна (2); Гатчека (3); Ванда (4); Манля и Малона (5); Эйлерса (6).

нических примесей. Совместное введение коагулянтов расширяет диапазон оптимальных для процесса коагуляции значений pH, а механические примеси способствуют достижению критической концентрации, необходимой для хлопьеобразования, что позволяет снизить дозу коагулянта. Эффект осветления воды и производительность осветлителя при этом повышаются.

Характер структурообразования изменяется в результате адсорбции гидроксида алюминия на частичках механических примесей. На это указывает более быстрое увеличение плотности коагулянта по сравнению с ростом в нем доли примесей.

При понижении температуры воды силы взаимного притяжения частичек взвеси уменьшаются, что является одной из причин снижения эффекта очистки воды.

Зависимость скорости свободного осаждения взвеси, сформированной при коагулировании примесей воды $Al_2(SO_4)_3$ от исходного содержания механических примесей в воде при температуре $20^\circ C$, приведена на рис. 8.3.

Вследствие диспергирования коагулянта увеличивается плотность взвеси, ухудшаются тиксотропные и адгезионные свойства и условия последующей агломерации взвеси.

Для изучения процессов, протекающих в аппаратах производственного масштаба, применяют метод

моделирования осветлителей. Моделированием устанавливают связь между размерами аппаратов, скоростью движения и эффектом осветления воды, параметрами контактной массы. Технологическое моделирование процесса выполняют в вертикальных колонках диаметром 100-150 мм, высотой 3000-4000 мм, оборудованных боковыми патрубками для отбора проб взвешенного осадка и осветленной воды.

8.3. КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЕЙ

Основными условиями, определяющими нормальную работу осветлителей, являются рациональная организация отвода осадка, распределение воды по сечению осветлителя и отвод осветленной воды.

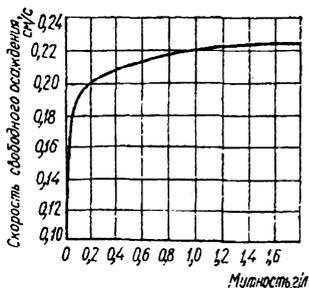


Рис. 8.3. Зависимость условной скорости свободного осаждения взвеси частичек от исходного содержания механических примесей в воде при коагулировании ее $Al_2(SO_4)_3$.

По месту расположения осадкоуплотнителей различают осветлители с вертикальными, с поддонными осадкоуплотнителями и без осадкоуплотнителей (осадок уплотняется в нижней части осветлителя). Они выполняются открытыми или напорными.

По гидравлическим условиям поступления осадка в осадкоуплотнитель осветлители также разделяются на два типа: с естественным отбором (избыток шлама поступает в осадкоуплотнитель в силу разности плотностей жидкости в зоне взвешенного слоя и в осадкоуплотнителе); с принудительным отсосом. Последний тип осветлителя более эффективен в работе.

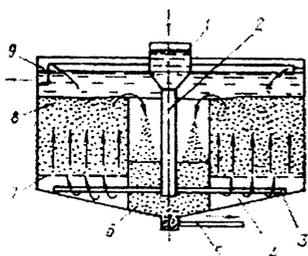


Рис. 8.4. Схема осветлителя с дырчатым распределительным днищем

Схема осветлителя с естественным отбором осадка приведена на рис. 8.4. Исходная вода через воздухоотделитель 1 по стояку 2 и системе труб 3 поступает в промежуточное пространство 4, которое одновременно является и камерой реакции; оттуда вода через отверстия в дырчатом дне 7 поднимается и проходит через слой взвешенного осадка 8. Избыток осадка попадает в центральный осадкоуплотнитель 6, откуда удаляется через трубу 5. Осветленная вода переливается в отводящий желоб 9.

Схема осветлителя ЦНИИ МПС производительностью до 10 тыс. м³/сут представлена на рис. 8.5. Их можно устраивать внутри и вне здания. В последнем случае стенки осветлителей утепляют, а над верхней их частью устраивают шатер.

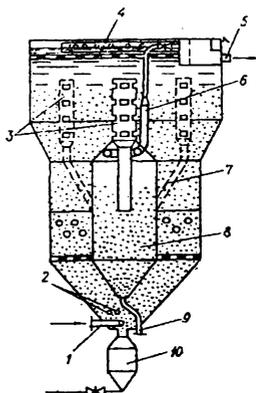
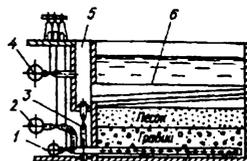


Рис. 8.5. Схема осветлителя ЦНИИ-1А: 1 – подвод воды; 2 – ввод реагентов; 3 – отвод избытка взвеси из контактной среды; 4 – дренажная решетка; 5 – выход очищенной воды; 6 – отсос очищенной воды из осадкоуплотнителя; 7 – осадкоотводящие трубы; 8 – осадкоуплотнитель; 9 – удаление осадка; 10 – бункер для удаления крупных кристаллических формаций.

Глава 9.

ОСВЕТАЕНИЕ ВОДЫ ФИЛЬТРОВАНИЕМ



9.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ ФИЛЬТРОВАНИЕМ ЧЕРЕЗ ЗЕРНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Завершающим этапом очистки воды от взвеси является *фильтрование*. Этот процесс осуществляется пропуском воды через зернистые или другие материалы.

При фильтровании воды, содержащей взвешенные вещества, через слой песка или другого зернистого материала они могут отлагаться на поверхности фильтрующего слоя (пленочное фильтрование); в порах фильтрующего слоя; одновременно на поверхности и в порах загрузки.

В процессе пленочного фильтрования взвешенные вещества, отлагаясь на поверхности фильтрующего слоя, образуют дополнительный фильтрующий слой. Этот слой способен задерживать высокодисперсную взвесь, однако его гидравлическое сопротивление быстро увеличивается, и фильтр приходится часто выключать на промывку.

Взвешенные вещества на поверхности фильтрующего слоя могут отлагаться в виде пленки при небольших (например, в медленных фильтрах) и при обычных скоростях фильтрования на скорых фильтрах, если через них пропускается вода, содержащая прочную взвесь.

В большинстве случаев на скорых фильтрах пленка не образуется, и взвешенные вещества вместе с водой проникают в толщу фильтрующего слоя. С увеличением крупности зерен загрузки и скорости фильтрования глубина проникания загряз-

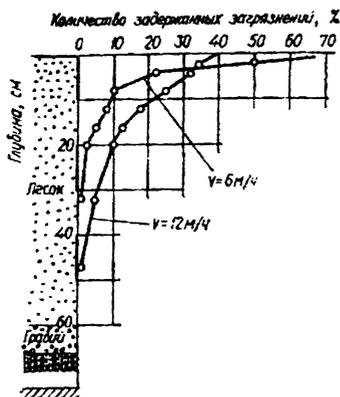


Рис. 9.1. Зависимость глубины проникания загрязнений в толщу фильтрующей загрузки от скорости фильтрования.

нений возрастает (рис. 9.1, 9.2). Адгезия или сорбция скоагулированных частичек поверхностью зерен фильтрующего слоя зависит от заряда частичек взвеси и их размеров. Если взвесь стабилизирована и имеет большой заряд, одноименный с зарядом поверхности фильтрующего слоя, в порах фильтрующего слоя она задерживается плохо.

На скорых фильтрах при фильтровании воды сверху вниз чаще всего происходят одновременно два процесса – задержание части взвешенных веществ в пленке на поверхности фильтрующего слоя и проникание их в толщу фильтра.

Процесс осветления фильтруемой суспензии – результат двух противоположных процессов: адгезии задерживаемых частичек к макроповерхности и отрыва ранее прилипших частичек и переноса их гидродинамическими силами потока. В каждом элементарном слое загрузки вода осветляется до тех пор, пока силы отрыва частичек не начинают превалировать над силами адгезии или аутогезии (взаимодействия между частичками в прилипшем слое).

Накопление осадка в зернистом слое приводит к увеличению сил отрыва частичек. При очистке воды процесс фильтрования важен в той стадии, когда прилипание частичек превалирует над их отрывом. Величина силы адгезии в водной среде определяется в основном межмолекулярным взаимодействием соприкасающихся тел; она на несколько порядков ниже, чем сила адгезии в воздухе. Кроме того, в водной среде возникают силы отталкивания, обусловленные свойствами последней.

Силы адгезии зависят от свойств воды и соприкасающихся поверхностей. Если последние резко различаются по смачиваемости, то адгезия минимальна. В водной среде она достигает максимального значения при одинаковой гидрофильности или гидрофобности поверхностей. Однако слипание гидрофобных поверхностей больше, чем гидрофильных.

Силы отталкивания, появляющиеся в водной среде, обусловлены расклинивающим действием тонкого слоя жидкости, находящегося между поверхностями соприкасающихся тел. Расклинивающее действие таких слоев объясняется отличием их термоди-

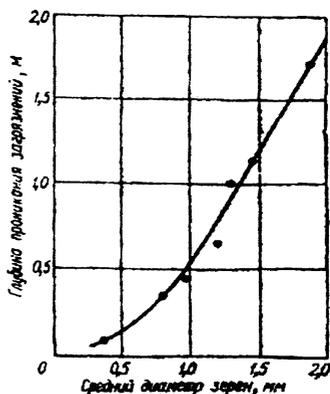


Рис. 9.2. Зависимость глубины проникновения загрязнений в толщу фильтрующей загрузки от диаметра её зерен.

наимического и химического потенциалов от потенциалов объемной фазы.

Отрыв частички под действием водного потока происходит в случае, если сила F_{omp} превышает силу адгезии $F_{ад}$ и массу частичек P , т. е.

$$F_{omp} \geq \mu(F_{ад} + P),$$

где μ – коэффициент трения.

Если $F_{ад} \geq P$, то $F_{omp} \geq \mu F_{ад}$.

Сила воздействия потока на частичку зависит от плотности и вязкости среды, диаметра частичек, скорости потока и условий обтекания прилипших частичек потоком.

Д.М. Минц установил, что изменение концентрации взвеси в воде при фильтровании ее через зернистый слой определяется уравнением

$$C/C_0 = f(X, T),$$

где C – концентрация взвеси в воде в данный момент времени t ; C_0 – концентрация взвеси в исходной воде; X и T – критерии подобия процесса

$$X = bx; \quad T = at,$$

где x – толщина зернистого слоя; t – время, прошедшее от начала процесса; b и a – параметры процесса, определенные методами теории размерностей:

$$b = \beta v^{\varepsilon_1} d^{\lambda_1}; \quad a = \alpha v^{\varepsilon_2} d^{\lambda_2},$$

где v – скорость фильтрования; d – диаметр зерен загрузки; β и α – коэффициенты, учитывающие совокупное влияние физических и физико-химических свойств воды и взвеси; отсюда

$$X = \beta v^{\varepsilon_1} d^{\lambda_1} x; \quad T = \alpha v^{\varepsilon_2} d^{\lambda_2} t.$$

Для процессов, протекающих при фильтровании воды на фильтрах с различной нагрузкой и скоростью фильтрования; коэффициенты β и α будут одинаковыми и могут не учитываться в расчетах. В таких случаях критерии подобия имеют вид

$$X' = v^{\varepsilon_1} d^{\lambda_1} x; \quad T' = v^{\varepsilon_2} d^{\lambda_2} t.$$

Обработкой большого количества экспериментальных данных установлено, что показатели степени при v и d в широком диапазоне изменения скоростей фильтрования и размеров зерен загрузки при разнообразном составе фильтруемой воды практически не изменяются и составляют: $\varepsilon_1 = -0,7$; $\varepsilon_2 = 1,0$; $\lambda_1 = -1,7$; $\lambda_2 = -1,0$.

Таким образом,

$$b = \beta \frac{1}{\sqrt{0,7} d^{1,7}}; \quad a = \alpha \frac{v}{d}; \quad X' = \frac{x}{\sqrt{0,7} d^{1,7}}; \quad T' = \frac{tv}{d}.$$

Из уравнения $C/C_0 = f(X, T)$ следует, что при $C/C_0 = \text{const}$ между критериями X и T должна существовать однозначная зависимость. Экспериментально установлено, что эта зависимость имеет вид

$$X' = K'T' + X'_0.$$

Подставив в это уравнение выражения для X' и T' , получим формулу для определения продолжительности защитного действия зернистой загрузки t_3

$$t_3 = \frac{1}{K'} \left(\frac{x}{\sqrt{0,7} d^{1,7}} - \frac{X'_0 d}{v} \right); \quad t_3 = \frac{1}{K} \frac{b}{a} \left(x - \frac{X_0}{b} \right),$$

где X_0 и K – константы, зависящие только от C/C_0 и принимаемые по составленным Д.М. Минцем диаграммам; b – параметр, характеризующий интенсивность прилипания; b/a – параметр, характеризующий скорость проникания хлопьев в глубину загрузки (эта скорость уменьшается с увеличением прочности хлопьев).

Как следует из формулы, продолжительность защитного действия загрузки возрастает с увеличением толщины слоя и прочности осадка и уменьшается с увеличением скорости фильтрования и размеров зерен загрузки.

Продолжительность работы фильтра до момента достижения предельной потери напора H_{np} определяется по формуле

$$t_H = \frac{H_{np} - H_0}{H_0 F(A)} \cdot \frac{b}{a} x,$$

где H_0 – потеря напора в чистой загрузке; $F(A) = \frac{h}{t} \cdot \frac{b}{a i_0}$ ($h = H_{np} - H_0$;

h/t – темп прироста потери напора в фильтре; i_0 – гидравлический уклон в чистой загрузке).

Определив методом технологического моделирования процесса фильтрования параметры b и a , параметры фильтрования (v, d, x) подбирают так, чтобы процесс протекал в условиях оптимального режима.

Критерием оптимальности процесса служит соотношение между t_3 и t_H . В технологическом и экономическом отношении оптимальным является режим, при котором $t_3 = t_H$. Однако, с точки зрения санитарной надежности, t_3 должно быть несколько больше, чем t_H .

Поскольку подбор загрузки фильтра и выбор скорости фильтрования проводится обычно для какого-то определенного (среднего

или характерного для данных местных условий) случая, то изменение физико-химических свойств воды источника или технологического режима водоочистной станции (например, изменение дозы коагулянта) приводит к изменению свойств фильтруемой суспензии и тем самым свойств образующегося в порах загрузки осадка. Это в свою очередь вызывает отклонение от оптимального режима фильтрования.

Эффективным методом ведения фильтрования в оптимальном режиме является воздействие на адгезионные свойства фильтруемой взвеси и свойства отложений в зернистой загрузке.

Способность флокулянтов увеличивать плотность и прочность хлопьев гидроксидов позволяет использовать их для направленного регулирования указанных свойств и, следовательно, оптимизации режима фильтрования. Практически это достигается введением определенной дозы флокулянта непосредственно перед фильтрующей загрузкой.

9.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЛЬТРОВ, ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

В зависимости от фильтрующего слоя различают следующие виды фильтров:

- *зернистые* (фильтрующий слой – кварцевый песок, дробленый антрацит, керамзит, пенополистирол, магномасса и др.);
- *сетчатые* (фильтрующий слой – сетка с размером ячеек 40 мкм);
- *тканевые* (фильтрующий слой – хлопчатобумажные, льняные, суконные, стеклянные или капроновые ткани);
- *намывные* (фильтрующий слой – древесная мука, диатомит, асбестовая крошка и другие материалы, намываемые в виде тонкого слоя на каркас из пористой керамики, металлической сетки или синтетической ткани).

Зернистые фильтры применяют для очистки хозяйственно-питьевой и технической воды; сетчатые – для задержания низкодисперсных взвешенных и плавающих частичек; тканевые – в полеводном водоснабжении; намывные – для очистки маломутных вод на станциях небольшой производительности (для поселков, пионерских лагерей, плавательных бассейнов и т. д.).

Для очистки воды в коммунальном и промышленном водоснабжении наиболее широко применяются зернистые фильтры. По

скорости фильтрования* их разделяют на *медленные* (скорость фильтрования 0,1-0,2 м/ч), *скорые* (5,5-14 м/ч) и *сверхскорые* (>25 м/ч).

В зависимости от крупности зерен фильтрующего слоя зернистые фильтры разделяют на *мелкозернистые* (например, медленные фильтры с размером зерен верхнего слоя песка 0,3-1 мм), *средне-зернистые* (например, скорые фильтры с размером зерен верхнего слоя песка 0,5-0,8 мм) и *крупнозернистые* (в частности, предварительные фильтры с размером зерен верхнего слоя песка 1-2 мм).

Если загрузка фильтрующего слоя однородна по плотности и отличается только крупностью зерен, то такие типы фильтров называются *однослойными* (например, скорые фильтры с загрузкой из кварцевого песка). Фильтры, загруженные неоднородной загрузкой по плотности и размеру зерен, называются *многослойными* (например, двухслойные скорые фильтры, в которых нижний слой – кварцевый песок, верхний – антрацит).

Зерна фильтрующей загрузки характеризуются *эффективной величиной зерен* и *коэффициентом неоднородности*. Эффективная величина зерен для песка соответствует калибру сита*, через которое проходит 10% данного песка. Коэффициентом неоднородности K_n называется отношение 80%-го калибра песка к 10%-му ($K_n = d_{80}/d_{10}$). Обычно это отношение принимают равным 1,5-2. Данные,

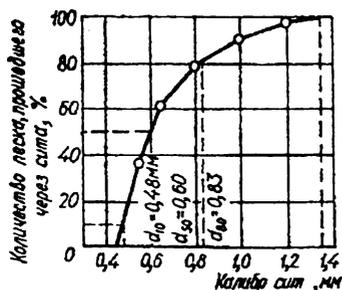


Рис. 9.3. График гранулометрического состава песка.

необходимые для характеристики песка, получают ситовым анализом, основанным на рассеивании высушенного образца средней пробы на калиброванных ситах и определении процента материала, оставшегося на каждом сите. По данным ситового анализа строят график гранулометрического состава песка (рис. 9.3).

В качестве критерия загрузки, отражающего содержание всех фракций, иногда используют эквивалентный диаметр зерен $d_э$, определяемый по формуле

* Скорость фильтрования представляет собой частное от деления количества очищаемой воды за единицу времени на площадь поверхности фильтрующего слоя.

* Калибр сита – диаметр шара, равного по объему наиболее крупным песчинкам, проходящим через данное сито.

$$d_3 = 100 / \sum p_i / d_k,$$

где p_i – процент зерен загрузки, оставшихся на сите с калибром d_k .

Для песка, ситовой анализ которого представлен на рис. 9.3, средний диаметр зерен составляет 0,6 мм, коэффициент неоднородности $0,83/0,48 = 1,73$, эквивалентный диаметр зерен – 0,57 мм.

Механическую прочность фильтрующих материалов характеризуют *стираемостью* и *измельчаемостью*. Эти показатели определяют так: 100 г исследуемого материала с размером частичек 0,5-1,0 мм помещают в банку со 150 мл воды и встряхивают на лабораторной машине в течение 24 ч. Процент истираемости определяется массой материала, прошедшего через сито с отверстиями 0,25 мм, а процент измельчаемости – массой его частичек, прошедших через сито с отверстиями 0,50 мм и оставшихся на сите с отверстиями 0,25 мм. Механическую прочность материала считают удовлетворительной, если его истираемость не превышает 0,5, а измельчаемость – 4%.

Химическую стойкость определяют, помещая по 10 г отмытого и просушенного при 60 °С фильтрующего материала в три колбы, содержащие по 500 мл дистиллированной воды. В одну колбу добавляют 250 мг $NaCl$ (нейтральная среда), в другую – 100 мг $NaOH$ (щелочная среда) и в третью – 100 мг HCl плотностью 1,19 г/см³ (кислая среда). После 24 ч контакта и взбалтывания через каждые 4 ч содержимое колб отфильтровывают и в фильтрате определяют содержание растворенного остатка, кремниевой кислоты, а также его окисляемость. Параллельно проводят опыты с аналогичными средами без исследуемого материала. При удовлетворительной химической стойкости материала прирост массы растворенного остатка не должен превышать 20, окисляемости и массы кремниевой кислоты – 10 мг/дм³.

Из инертных материалов наиболее распространен кварцевый песок, который до загрузки отмывается на специальных пескомойках и сортируется. Он соответствует требованиям механической прочности и, как правило, удовлетворяет условиям химической стойкости. Его используют на скорых фильтрах, двухпоточных фильтрах конструкции АКХ и контактных осветлителях. Аналогичную механическую прочность и химическую стойкость имеет и дробленый антрацит.

Исследование дробленого антрацита в качестве фильтрующего материала показало, что при одинаковых эффективных диаметрах зерен и близких коэффициентах неоднородности объемная масса антрацита меньше, а пористость больше, чем песка. Гряземкость антрацитового фильтра превышает гряземкость песчаного

на 13-14%, а интенсивность промывки при 50%-м расширении в два раза меньше. Потери напора на антрацитовом фильтре примерно на 16% меньше, чем на песчаном.

Благодаря высоким фильтрующим качествам антрацит является перспективным фильтрующим материалом и в настоящее время широко применяется для загрузки фильтров.

Фильтрующие загрузки располагаются на *поддерживающих слоях гравия или щебня*. Размер зерен поддерживающих слоев в зависимости от устройства фильтра и условий фильтрования постепенно увеличивается от 2-5 до 20-40 мм. Толщина отдельных слоев и их количество определяются размером зерен гравия и типом фильтра. Поддерживающие материалы должны быть устойчивыми против измельчения и истирания, химически стойкими, должны содержать не более 10% частичек известняка.

В качестве фильтрующих зернистых загрузок могут использоваться и другие материалы: стеклянная, фарфоровая и керамическая крошка, песок из керамзита, аглопорита зольного, доменного шлака, шлаковой пемзы.

Исследования доменного шлака показали, что его фильтрующие свойства и пористость выше, чем песка, однако по механической прочности он уступает последнему.

Из активных фильтрующих материалов за рубежом широко применяются мраморная крошка и магномасса (при стабилизационной обработке воды), активированный уголь (для удаления привкусов и запахов), а также диатомиты (аморфный кремнезем). В состав природного кремнезема входит 74-75% кремниевой кислоты, 15-16% полуметаллических оксидов, 3-4% CaO и MgO . Диатомит имеет малую прочность, аморфное строение, легко истирается и дробится, поэтому он используется в основном для очистки воды в больших коммунальных домах, плавательных бассейнах и т. д.

По давлению, под которым работают фильтры, они делятся на безнапорные (открытые) и напорные; по направлению перемещения фильтрующего потока – на одно-, двух- и многопоточные.

При пропускании через фильтр воды фильтрующий слой постепенно загрязняется, в нем возрастает потеря напора и снижается при постоянном напоре скорость фильтрования. Уменьшение скорости фильтрования приводит к снижению производительности фильтра.

Восстанавливают фильтрующую способность фильтра, *промывкой*. Для этого подачу исходной воды прекращают и через дренажную (распределительную) систему подают воду (или воду и воздух) с большой интенсивностью.

Интервал времени между двумя промывками называется

фильтроциклом. Он зависит от характера и количества веществ, загрязняющих воду, крупности зерен и пористости фильтрующей загрузки, от скорости фильтрования.

Время, в течение которого данная загрузка способна осветлять воду до заданных показателей, называется *временем защитного действия фильтрующей загрузки*.

Количество загрязнений, задерживаемых в процессе фильтроцикла, называется *грязеемкостью* фильтра.

Основными исходными данными для проектирования фильтров являются: их полная и полезная производительность, продолжительность работы станции, количество и качество поступающих на фильтры с водой по сезонам взвешенных веществ, требования к качеству отфильтрованной воды, реагенты и их дозы (в прямоточных системах), время защитного действия фильтрующей загрузки и время достижения допустимой потери напора.

9.3. ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ ЧЕРЕЗ СЕТКИ В ТКАНИ

Микрофильтры и барабанные сетки применяются на станциях любой производительности для предварительной очистки воды от механических примесей различной степени дисперсности:

- крупных механических примесей (щепа, листья, стебли растений, семена);
- высокодисперсных взвешенных веществ (песок, ил);
- фито- и зоопланктона (сине-зеленые, диатомовые водоросли).

Микрофильтры с размером ячеек рабочих сеток от 20 до 60 мкм (в соответствии с рекомендациями СНиПа 2.04.02-84) применяются для задержания планктона, если число клеток в 1 мл воды превышает 1 000.

Барабанные сетки с размером ячеек рабочих сеток 500×500 мкм применяются для грубого осветления (процеживания) воды на водозаборах. Конструктивно они подобны микрофильтрам.

Благодаря малым размерам ячеек, микрофильтры способны задерживать до 25% взвешенных веществ, до 75% диатомовых и до 95% сине-зеленых водорослей.

Диаметр клеток водорослей в зависимости от вида составляет от 5 до 70 мкм, колонии имеют диаметр от 80 до 260 мкм и более. Эти загрязнения воды можно было бы удалить непосредственно на основных очистных сооружениях, однако, перемещаясь по трубам, они вызывают появление неприятных запахов и привкусов (рыбный, затхлый), образование отложений (сплошных, донных, бугристых), заболевания людей и животных кожными, аллергическими и желу-

дочно-кишечными болезнями.

Основным конструктивным элементом микрофильтров и барабанных сеток является сетка. Диапазон размеров сторон ячеек рабочих сеток составляет 20-100 мкм. Поэтому сетчатые установки могут выполнять роль как вспомогательных, так и самостоятельных устройств.

В качестве вспомогательных устройств они применяются, если необходимо повысить надежность работы водоочистных и водопроводных сооружений и оборудования (например, защитить насосы от попадания в них находящихся в воде крупных механических примесей, улучшить работу распределительных систем фильтров); улучшить технико-экономические показатели систем и установок (снизить число промывок фильтров, уменьшить объем шлама в отстойниках); уменьшить концентрацию загрязнений в промывных водах; улучшить санитарное состояние водоемов (за счет выделения из воды фито- и зоопланктона).

В качестве самостоятельных устройств сетчатые установки применяются в системах охлаждения оборудования, в оборотных системах отдельных производств, когда к воде предъявляются требования только по фракционному составу взвешенных веществ и содержанию в ней планктона.

На станциях осветления воды городских водопроводов микрофильтры устанавливаются перед смесителями. Вода насосами первого подъема подается в приемную камеру, а оттуда на микрофильтры.

Сетки, применяемые в системах водоснабжения, должны:

- 1) очищать воду, до необходимых показателей и качественно регенерироваться;
- 2) иметь минимальные значения потерь напора;
- 3) обладать требуемыми механической прочностью, химической, электрохимической и биологической стойкостью;
- 4) быть долговечными и недорогими.

В соответствии с этими требованиями в водоподготовке чаще применяются металлические сетки. Надежность работы их зависит от состава примесей воды, области применения и др.

При выборе металлических сеток для установок систем водоснабжения следует руководствоваться нормативными документами «Сетки металлические проволочные. Классификация. Характеристика и основные предельные размеры».

Материалом для изготовления сеток служат низко- и среднеуглеродистые, легированные, нержавеющие стали, медь, латунь и др. По виду покрытия сетки могут быть цинкованными, оцинкованными, окрашенными, лакированными, гуммированными.

Неметаллические сетки и фильтровальные ткани в технологии очистки воды имеют ограниченное применение. Ткани из натуральных волокон (хлопок, шерсть, лен) и синтетических материалов (капрон, нитрон, хлорин и др.) обладают большим гидравлическим сопротивлением, с их поверхности трудно удаляются загрязнения; натуральные волокна гигроскопичны, обладают анизотропными механическими свойствами. Однако они быстро стареют и теряют свои первоначальные свойства. Асбестовые ткани имеют низкую механическую прочность, стеклоткани создают значительные гидравлические потери.

Основным элементом микрофильтра (рис. 9.4) является вращающийся барабан со съемными фильтрующими элементами 1 гравитационного типа, размещенный в бетонном (иногда в металлическом) резервуаре 8 прямоугольной формы.

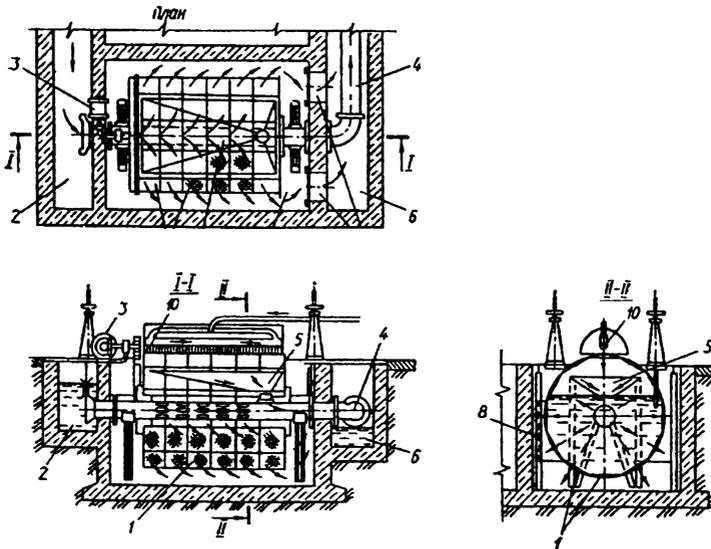


Рис. 9.4. Конструкция микрофильтра и барабанной сетки (разрез).

Барабан фильтра представляет собой 18-гранную призму со стенками, закрытыми фильтрующими сетчатыми элементами. В микрофильтрах они состоят из двух поддерживающих сеток с ячейками размером 2×2 мм, между которыми расположена рабочая фильтрующая сетка с ячейками 40 мкм, а в барабанных сетках – с ячейками 500 мкм. Воду фильтруют при остановленном барабане.

Исходная вода из канала 2 по трубе 9 поступает внутрь барабана, проходит сквозь фильтрующие элементы, очищается от меха-

нических примесей и отводится через проходы с шиберами 7 в сборный канал 6.

При засорении фильтрующих сеток и достижении максимального перепада уровней автоматически включаются промывное устройство 10 и электродвигатель 3, вращающий барабан со скоростью 1,25-5,0 об/мин.

Загрязненная сетка очищается при промывке ее отдельных участков очищенной водой, подаваемой из разбрызгивающего промывного устройства 10. Вода к промывному устройству подается под напором 0,15-0,2 МПа. Расход воды на промывку микросеток в барабанных сетках не должен превышать 0,5%, в микрофильтрах – 1,5% от количества воды, подаваемой на станцию.

Наружная поверхность трубы, по которой поступает очищаемая вода, служит опорой одного из подшипников, на котором вращается барабан микросита. Опорой второго подшипника барабана служит труба 4, через которую отводится загрязненная промывная вода из водосборного лотка.

Максимальный уровень воды внутри барабана 1 должен быть на 10 см ниже кромки воронки сбора промывной воды 5.

Интенсивность фильтрования на микрофильтрах принимают из расчета 10-25 л/с на 1 м² полезной площади микросетки, погруженной в воду. Потери напора при процеживании воды на микросетке составляют около 0,2 м, а общие потери напора на установку не превышают 0,5 м.

Линейная скорость вращения барабана не должна превышать 0,1-0,3 м/с. Следует предусматривать периодическую интенсивную промывку фильтрующих элементов с максимальным расходом воды 5%.

При проектировании станций подготовки воды с микрофильтрами и барабанными сетками предусматривают такое количество резервных агрегатов: при количестве рабочих агрегатов 1-5 – резервных 1, при 6-10 – резервных 2, при 11 и более – резервных 3.

В странах СНГ выпускаются микрофильтры с диаметром барабана 1,5-3 м, длиной 1-4,5 м и производительностью 4-45 тыс.м³/сут.

По данным работы некоторых водоочистных станций, благодаря установке микрофильтров, расход промывной воды на фильтрах уменьшился вдвое, расход коагулянта – в 2,5 раза, снизилась на 25% потеря напора, фильтроцикл удлинился на 25-40%.

В процессе эксплуатации микрофильтров и барабанных сеток необходимо обеспечивать поступление одинаковых количеств воды на каждый агрегат, следить за работой промывного устройства, исправностью сетчатых элементов, привода и подшипников. Во избежание повреждения фильтрующих элементов при включении в ра-

боту камеру фильтров заполняют водой постепенно, регулируя степень открытия задвижки или шиберы. Профилактический ремонт фильтров ведут при минимальном содержании в исходной воде примесей и в периоды наименьшей нагрузки.

9.4. АКУСТИЧЕСКИЕ СЕТЧАТЫЕ ФИЛЬТРЫ

Акустические сетчатые фильтры применяются для предварительного осветления вод, содержащих высокодисперсные глинистые и другие взвеси крупностью более 20 мкм. При содержании в исходной воде до 6000 мг/дм³ взвеси эффект осветления достигает 60%. В результате создания упругих колебаний звукового диапазона частот электромагнитным вибратором в акустических фильтрах происходит непрерывная регенерация фильтрующего элемента.

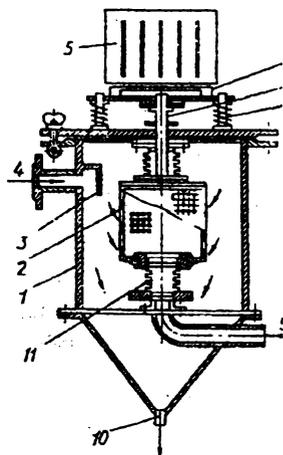


Рис.9.5. Схема акустического фильтра.

Акустический фильтр (рис. 9.5) представляет собой круглый (в плане) резервуар высотой 1,2-1,4, диаметром 0,4-0,6 м, состоящий из металлического корпуса 1, в котором расположены фильтрующий элемент 2 и сифонные уплотнения 11. Фильтрующий элемент выполнен в виде перфорированного стакана из нержавеющей стали с расположенными в шахматном порядке отверстиями диаметром 4-5 мм, обтянутого микросеткой с размером ячеек 100-125 мкм. Штоком 7 стакан соединен с плитой 6, прикрепленной к корпусу электромагнитного вибратора 5, который опирается на четыре пружины 8, выполняющие роль амортизатора.

Обрабатываемая вода поступает в корпус фильтра 1 по трубе 4 со скоростью 80-150 м/ч, проходит через фильтрующий элемент, осветляется и отводится по трубе 9. В результате возвратно-поступательного движения фильтрующего элемента частички механических примесей на сетке не осаждаются и не происходит ее коагуляция. Под действием силы гравитации они постепенно осаждаются в конусной части фильтра и через систему оттариванных насадок 10 непрерывно отводятся в канализацию. Расход воды с осадком составляет 3-5% полезной производительности акустического фильтра.

9.5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Предварительные фильтры (префильтры) рекомендуют использовать для предварительного осветления воды с мутностью свыше 50 мг/дм^3 перед подачей ее на медленные фильтры. Скорость фильтрования воды на них поддерживают в зависимости от ее мутности в пределах 3-5 м/ч. Если мутность воды не превышает 100 мг/дм^3 , то скорость фильтрования принимают равной 5 м/ч. При большей мутности ее уменьшают. Рекомендуются такие крупность зерен и высота слоя загрузки префильтров:

Крупность зерен, мм	1-2	2-5	5-10	10-20	20-40
Высота слоя, мм	700	100	100	100	150

Число фильтров должно быть таким, чтобы можно было включить на ремонт один фильтр (если общее число фильтров не превышает 10) или два фильтра (при большем их количестве). Скорость фильтрования воды в оставшихся в работе фильтрах не должна превышать значений, рекомендованных для скорых крупнозернистых фильтров.

Высоту слоя воды над поверхностью фильтрующего слоя в префильтрах принимают равной 1,5 м. Загрузку в них промывают потоком отфильтрованной воды, направленным снизу вверх. Распределительная система промывки должна обладать большим сопротивлением. Интенсивность промывки следует принимать в пределах 12-14 л/(с·м²) в течение 6-7 мин. Промывную воду из префильтров отводят по навесным желобам, верхнюю кромку которых располагают на 40-50 см выше фильтрующего слоя.

Префильтры в районах с мягким климатом, а также в случаях, когда они эксплуатируются только в периоды паводков или высокой мутности воды в источнике, можно располагать на открытом воздухе. При этом в здании размещаются задвижки, регуляторы скорости фильтрования и пульты управления; необходимо также предусматривать возможность полного сброса воды из префильтров и трубопроводов в зимний период.

9.6. КРУПНОЗЕРНИСТЫЕ ФИЛЬТРЫ

Крупнозернистые фильтры применяют для частичного осветления воды, используемой для производственных целей, с коагуляцией или без нее. Количество задерживаемой фильтрами взвеси без коагуляции составляет 50-70% содержащихся в воде загрязнений, с коагуляцией – остаточная мутность достигает 3-5 мг/дм³.

Загружают крупнозернистые фильтры кварцевым песком или

другими материалами, обладающими необходимой механической прочностью и химической стойкостью. При размере зерен песка 1-2 мм высота слоя загрузки составляет 1,5-2 м, скорость фильтрования 10-12 м/ч, при размере 1,6-25 мм – соответственно 2,5-3 м и 13-15 м/ч.

Грязеемкость крупнозернистых фильтров благодаря применению загрузки большой крупности значительно возрастает, а расход промывной воды уменьшается. Однако с увеличением диаметров зерен фильтрующего слоя снижается его задерживающая способность, что обуславливает необходимость увеличения толщины слоя.

Для промывки крупнозернистых фильтров применяют дренажные системы, способные подавать воду и воздух. При расчете и конструировании этих систем исходят из следующего режима промывки фильтра: взрыхление фильтрующей загрузки воздухом с интенсивностью 15-25 л/(с·м²) – 1 мин; водо-воздушная промывка – 3,5-5 л/(с·м²) воды, 15-25 л/(с·м²) воздуха – 5 мин; отмывка водой с интенсивностью 7-9 л/(с·м²) – 3 мин.

Площадь крупнозернистых фильтров F определяют по формуле

$$F = \frac{Q}{t_p v_p - 3,6n(W_1 t_1 + W_2 t_2 + W_3 t_3) - n t_4 v_p},$$

где Q – полезная производительность фильтров, м³/сут; t_p – продолжительность работы станции в течение суток, ч; v_p – расчетная скорость фильтрования, м/ч; n – число промывок каждого фильтра в течение суток; W_1, W_2, W_3 – соответственно интенсивности первоначального взрыхления загрузки, подачи воды и отмывки загрузки, л/(с·м²); t_1, t_2, t_3 и t_4 – соответственно продолжительности первоначального взрыхления фильтрующей загрузки, водовоздушной промывки, отмывки и простоя фильтра из-за промывки, ч.

При высоких скоростях фильтрования, в 10 раз и более превышающих скорости скорых безнапорных фильтров, продолжительность фильтроцикла существенно сокращается. Если фильтроцикл при скорости фильтрования 5 м/ч составляет в среднем 15-20 ч, то при увеличении скорости до 50 м/ч – только 0,75-1 ч.

Разработанная Г.Н. Никифоровым и сотрудниками система автоматизации работы этих фильтров позволяет получать требуемое качество воды при скорости фильтрования 35-50 м/ч.

9.7. СКОРЫЕ БЕЗНАПОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Скорые безнапорные фильтры предназначены для удаления из воды взвешенных и коллоидных частиц после реагентной об-

работки воды или без нее. При скорости фильтрования 5-14 м/ч они обеспечивают качество воды в соответствии с СанПин 10-124 РБ 99. Мутность воды, подаваемой на скорые фильтры, не должна превышать 8-15 мг/дм³.

В скорых безнапорных фильтрах перепад давления создается за счет разности уровней воды в фильтре и в резервуаре чистой воды. По направлению движения воды они разделяются на одно- и двухпоточные. В первых воду фильтруют сверху вниз, во вторых – одновременно сверху вниз и снизу вверх.

Скорые фильтры рассчитывают для работы в нормальном и форсированном режимах. Работа фильтров форсируется в тех случаях, когда кроме обычного отключения их на промывку один или два фильтра останавливаются на ремонт. Если фильтров на станции до 20, следует предусматривать возможность выключения на ремонт одного из них, при большем количестве фильтров – двух.

Продолжительность фильтроцикла при нормальном режиме должна составлять не менее 8-12 ч и лишь при форсированном режиме или полной автоматизации промывки фильтров может быть равной 6 ч. Фильтров на станциях производительностью более 1 600 м³/сут должно быть не менее четырех.

9.8. СКОРЫЕ ФИЛЬТРЫ С ОДНОСЛОЙНОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Открытые скорые фильтры с однослойной загрузкой (рис. 9.6) представляют собой прямоугольные (в плане) железобетонные резервуары площадью 100-120 м², загруженные фильтрующими слоями зернистого материала с поддерживающими слоями гравия, под которыми размещена дренажная система для сбора отфильтрованной и равномерного распределения промывной воды. Их загружают кварцевым песком, дробленым антрацитом и другими зернистыми материалами, удовлетворяющими санитарно-гигиеническим требованиям и обладающими необходимой

механической прочностью и химической стойкостью. Высота слоя загрузки зависит от диаметра ее зерен. При диаметре зерен кварцевого песка 0,5-1,2 мм высота слоя составляет 700-800 мм; 0,7-1,6

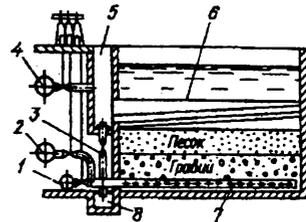


Рис. 9.6. Схема открытого скорого фильтра:

- 1 – отвод отфильтрованной воды;
- 2 – подача промывной воды;
- 3 – выпуск загрязненной промывной воды;
- 4 – подача осветляемой воды;
- 5 – распределительный карман;
- 6 – желоба для распределения фильтруемой и для отвода промывной воды;
- 7 – дренажная система;
- 8 – канализационный канал.

– 1300-1500 мм; 0,8-2,0 – 1800-2000 мм.

Для сбора промывной воды и подвода осветляемой воды из отстойников или осветлителей в верхней части фильтров предусматривают желоба и другие устройства.

Вдоль фильтров размещают арматуру управления, обеспечивающую подвод воды, отвод фильтрата, подачу промывной воды, сброс воды после промывки фильтрующих слоев. Кроме того, предусматривают регуляторы скорости фильтрования или расходомеры для фильтрата с регулятором.

Площадь F таких фильтров определяют по формуле

$$F = \frac{Q}{t_p v_{p,H} - 3,6nWt_1 - nt_2 v_{p,H}},$$

где Q – полезная производительность станции, м³/сут; t_p – продолжительность работы станции в течение суток, ч; $v_{p,H}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч; n – число промывок каждого фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации; W – интенсивность промывки, л/(с·м²); t_1, t_2 – соответственно продолжительности промывки и простоя фильтра в связи с промывкой, ч.

Скорость воды в подводящих трубопроводах и каналах должна составлять 0,8-1,2 м/с, высота слоя воды над загрузкой фильтра не менее 2 м.

При форсированном режиме работы фильтров трубопроводы и каналы должны обеспечить следующие скорости воды, м/с: подающие на фильтр отстоянную воду – 0,8-1,2; отводящие отфильтрованную воду – 1,0-1,5; подающие промывную воду и отводящие ее в канализацию – 1,6-2,0. Опорожнение фильтра предусматривают через распределительную систему и спускную трубу диаметром 100-200 мм (в зависимости от площади фильтра). Входное отверстие трубы защищают сеткой или решеткой. Уклон днища фильтра в направлении сбросного трубопровода составляет 0,005.

9.9. СКОРЫЕ ФИЛЬТРЫ С ДВУХСЛОЙНОЙ ЗАГРУЗКОЙ

В скорых фильтрах с двухслойной загрузкой последняя состоит из отдельных слоев песка (при диаметре зерен 0,50-1,2 мм высота слоя составляет 700-800 мм) и антрацитового крошки (при диаметре зерен 0,8-1,8 мм высота слоя составляет 400-500 мм). Скорость фильтрования при нормальном режиме должна составлять 8-10, при форсированном 8,5-12 м/ч. В верхней части фильтра помещают крупнозернистый материал, поэтому плотная пленка загрязнений не образуется, поскольку они отлагаются в большом по-

ровом пространстве фильтрующего слоя. В результате этого примерно в 2-2,5 раза возрастает грязеемкость фильтра, и предоставляется возможность увеличить скорость фильтрования, а также удлинить фильтроцикл.

Особенно перспективно применение этих фильтров при очистке воды, содержащей большое количество фитопланктона, что наблюдается при цветении водоемов. Они пригодны также для умягчения и обезжелезивания, воды.

Конструктивно такие фильтры аналогичны обычным скорым фильтрам с однослойной загрузкой. Особенностью их оборудования является формирование отдельных слоев песка и дробленого антрацита, что достигается последовательной тщательной сортировкой их в процессе промывки. В некоторых случаях вместо антрацита используют активированный уголь; при этом в фильтрующем слое наряду с осветлением происходит обесцвечивание и дехлорирование воды.

9.10. ФИЛЬТРЫ АКХ

В основу двухпоточных скорых фильтров АКХ (рис. 9.7) положен принцип двухстороннего фильтрования воды с отводом фильтрата трубчатой дренажной системой, расположенной в толще фильтрующего слоя. Пространство 1 над поверхностью песка 5 соединяется трубопроводом 2 с поддонным пространством 3. Дренажная система 4 расположена на расстоянии 50-60 см от поверхности песка. Часть исходной воды направляется в дренажную систему, фильтруясь через слой песка b_1 , а другая часть по трубопроводу 2 подается в поддонное пространство 3, а оттуда – в дренажную систему 4 снизу вверх через слой песка b_2 .

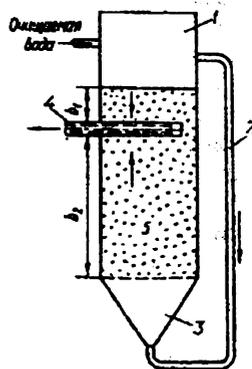


Рис. 9.7. Принципиальная схема фильтра АКХ.

Фильтрование основной массы осветляемой воды снизу вверх сначала через слой крупного, а затем через все более мелкий песок обеспечивает, повышение грязеемкости и производительности фильтра при сокращении расхода воды на промывку. В нижней части такого фильтра располагают трубчатую распределительную систему. Над ней помещают гравийные поддерживающие слои, на которые укладывают слой песка. Часть воды из отстойника подают в

сборный карман фильтра, откуда она поступает по желобам на верхнюю часть загрузки. Основная же масса воды через распределительную систему поступает в нижнюю часть фильтрующего слоя. Очищенную воду собирают и отводят в коллектор дренажными трубами, расположенными на 500-600 мм ниже поверхности песка. Промывную воду собирают и отводят в сборный канал и трубопровод сточной воды желобами (рис. 9.8).

Фильтр загружают отмытым кварцевым песком крупностью 0,5-1,6 мм. Поддерживающие слои гравия укладывают так же, как и в однопоточных скорых фильтрах. Расчетная скорость фильтрования для фильтров АКХ, составляющая 10-12 при нормальном и 12-15 м/ч при форсированном режиме, представляет собой сумму скоростей

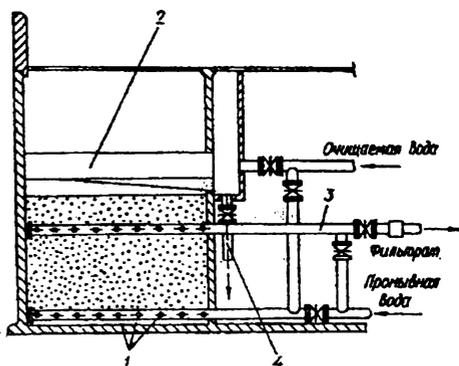


Рис. 9.8. Схема устройства фильтра АКХ: 1 – нижний дренаж; 2 – желоб; 3 – дренаж внутри загрузки; 4 – трубопровод.

потоков воды через нижний и верхний слои зернистой загрузки. Во время работы фильтра скорость фильтрования через нижний слой загрузки увеличивается, а через верхний слой, в связи с малой его грязеемкостью – уменьшается. К концу фильтроцикла скорость фильтрования через нижний слой достигает 80% суммарной скорости.

При промывке фильтров воду сначала подают в дренажную систему для взрыхления верхнего фильтрующего слоя, затем подключают основную промывку через нижнюю распределительную систему при одновременной подаче воды в дренаж с минимальной интенсивностью для создания противодействия, препятствующего попаданию в него загрязнений из нижних слоев. После окончания промывки подачу воды снизу прекращают, а сверху подают еще некоторое время для очистки щелей дренажных труб.

Нижняя распределительная система фильтров АКХ аналогична трубчатой системе большого сопротивления однопоточных скорых фильтров.

Она состоит из щелевых винилластовых, асбестоцементных или прочных полиэтиленовых труб. Щели располагают рядами параллельно оси труб в шахматном порядке. Длина щелей в винилластовых трубах – 45-60, в асбестоцементных – до 100 мм; ширина их

– 0,4-0,5 мм (1,5-2% площади фильтра). Расстояние между рядами щелей по внутренней поверхности составляет не менее 10, между смежными щелями в ряду по наружной поверхности – 15-20 мм. Скорость движения воды в дренажных трубах не должна превышать 1 м/с. Стыки дренажных труб жестко укрепляют на опорах из стальных труб или балок прокатных профилей, расположенных перпендикулярно к оси дренажных труб. Обычно расстояние между опорами принимают равным 1,2-1,5 м.

Однако конструкция и управление их работой значительно сложнее, чем обычных скорых и двухслойных фильтров.

9.11. ПРОМЫВКА СКОРЫХ БЕЗНАПОРНЫХ ФИЛЬТРОВ

Потери напора для скорых открытых фильтров принимают 3,0-3,5 м. Скорые фильтры загрязняются значительно быстрее, чем медленные. Поэтому промывают их один-два раза в сутки (в паводки чаще) отфильтрованной водой под необходимым напором. Двигаясь с большой скоростью и значительным гидродинамическим давлением через фильтрующий материал снизу вверх, вода его разрыхляет и переводит во взвешенное состояние. Зерна фильтрующего материала ударяются друг о друга, налипшие загрязнения попадают в промывную воду, которая переливается через кромки железобетонных желобов и отводится в канализацию.

В период выключения одного фильтра на промывку на остальных фильтрах скорость фильтрования сохраняют постоянной или увеличивают до 20%. Если на станции обработки воды менее шести фильтров, скорость фильтрования должна оставаться постоянной. Для возможности приема воды при выключении фильтра на промывку над нормальным уровнем воды в фильтрах, отстойниках, осветлителях и других сооружениях предусматривают дополнительную высоту слоя воды.

Скорые фильтры промывают либо только водой, подаваемой снизу вверх с большой интенсивностью, либо одновременно промывают водой и продувают воздухом.

Равномерное распределение воды по площади скорых фильтров осуществляют дренажными системами с поддерживающими слоями или без них. К дренажам с поддерживающими слоями относятся трубчатый дренаж большого и малого сопротивления, дренаж из сборных железобетонных элементов и др.

В трубчатом дренаже большого сопротивления равномерность распределения воды по площади фильтра достигается благодаря большому гидравлическому сопротивлению при проходе промывной воды через отверстия дренажа. Эти сопротивления значительно

превышают разность давлений промывной воды в различных точках дренажной системы. В дренаже малого сопротивления равномерное распределение воды по площади фильтра достигается за счет малых скоростей движения воды в дренажной системе и малой, вследствие этого, разности давлений в различных точках дренажной системы.

Трубчатый дренаж большого сопротивления может быть выполнен с горизонтальной компенсацией и без нее. Дренаж без горизонтальной компенсации устраивают так, чтобы вода из него при промывке фильтра поступала непосредственно в толщу поддерживающего или фильтрующего слоя.

В дренаже с горизонтальной компенсацией предусматривается поступление воды из отверстий системы в свободное от загрузки пространство фильтра, где она, двигаясь в горизонтальном направлении, компенсирует в известной мере возможную неравномерность распределения воды дренажной системой.

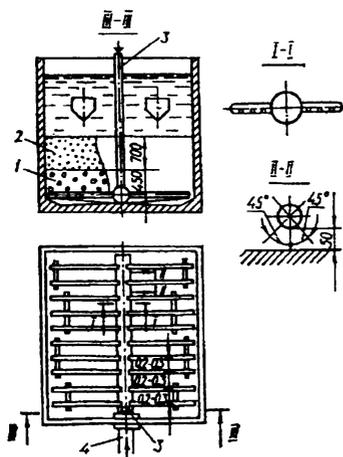


Рис. 9.9. Схема трубчатого дренажа большого сопротивления:

1 – гравий; 2 – фильтрующий слой; 3 – воздушная труба; 4 – подача воды для промывки фильтра.

Наиболее распространенным является трубчатый дренаж большого сопротивления без горизонтальной компенсации (рис. 9.9). Он выполнен как центральный коллектор с ответвлениями из перфорированных труб с круглыми отверстиями диаметром 10-12 мм, направленными вниз под углом 45° .

Разновидностью дренажа большого сопротивления без поддерживающих гравийных слоев является трубчатый дренаж со щелевой перфорацией при ширине щели на 0,1 мм меньше наиболее мелкой фракции фильтрующей загрузки. Перфорированные трубы во избежание зарастания и коррозии щелей изготавливают из нержавеющей стали или из пластмассы (например, из винилпласта).

Наиболее перспективен дренаж из перфорированных труб из нержавеющей стали с электроискровой нарезкой щелей (1,5-2,0% площади фильтра).

В скорых фильтрах без поддерживающих гравийных слоев с

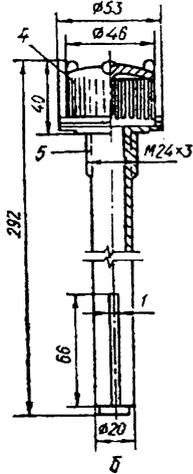
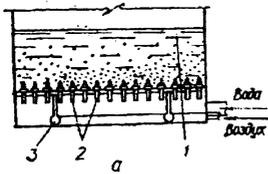


Рис. 9.10. Схема скорого фильтра с колпачковым дренажем (а) и колпачок В-2 (б):

1 – фильтрующий слой; 2 – дренажные колпачки; 3 – система труб для подачи воздуха; 4 – щели; 5 – резьба для крепления колпачка в промежуточной плите.

равномерно распределять одновременно воду и сжатый воздух. Щели в верхней части колпачков равномерно расположены по цилиндрической поверхности; нижние их части выполнены в виде полого ствола с узкой щелью шириной 1,0-1,5 мм и высотой 50-60 мм. Суммарная площадь щелей всех колпачков, устанавливаемых в фильтры, должна составлять 0,8-1,0 % его рабочей поверхности.

На рис. 9.11 приведена схема щелевого фарфорового колпачка конструкции Всесоюзного теплотехнического института им. Ф.Э. Дзержинского. В нижней части колпачок имеет резьбу для навертывания его на резьбу ниппеля трубчатой дренажной системы или на ниппель плиты дренажа с горизонтальной компенсацией. Уплотнение на резьбе достигается с помощью льняной пряди, смазанной суриком.

водяной и воздушной промывкой целесообразно применять дренажи из колпачков со щелевыми отверстиями (рис. 9.10).

Такие колпачки можно изготовить из пластмассы, фарфора, нержавеющей стали; закрепляют их в промежуточном (ложном) днище фильтра. Их должно быть не менее 35-50 на 1 м² площади фильтра. Площадь щелей

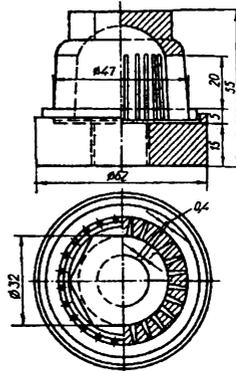


Рис. 9.11. Схема щелевого фарфорового колпачка ВТИ-5.

пластмассового колпачка В-2 составляет 2,88 см². Они применяются при водовоздушной промывке скорых фильтров, поскольку позволяют равно-

На боковой поверхности щелевого фарфорового колпачка рас-

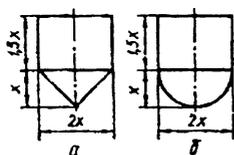


Рис. 9.12. Схема желобов для отвода из фильтров промывной воды:

а – площадь сечения желоба $F = 4,0 x^2$; б – $F = 4,57 x^2$.

расположено 24 вертикальные щели длиной 20 мм каждая. Ширина щели по внешнему диаметру колпачка составляет 0,4, по внутреннему – 1,0 мм, общая площадь щелей одного колпачка – 1,92 см². Днище желоба для отвода промывной воды может быть многоугольным или полукруглым (рис. 9.12). Располагают желоба параллельно короткой стороне фильтра так, чтобы

расстояние между смежными желобами не превышало 2,2 м. Для обеспечения равномерного отвода промывной воды с фильтра переливные кромки желобов устанавливают на одном уровне и строго горизонтально, поверхность стенок делают гладкой, уклон лотков желобов к сборному каналу должен составлять не менее 0,01.

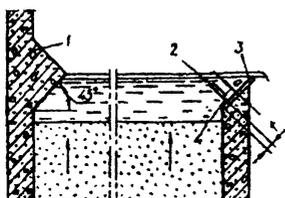


Рис. 9.13. Система низкого (горизонтального) отвода промывной воды с пескоулавливающим желобом:

1 – струенаправляющий выступ; 2, 3 – соответственно отбойная и переливная стенки пескоулавливающего желоба; 4 – щель для возврата задержанного песка а = 15...20 мм; f = 30...40 мм.

Вывос песка при водовоздушной промывке фильтров может быть предотвращен устройством системы горизонтального (низкого) отвода воды с пескоулавливающим желобом (рис. 9.13). Фильтрующую загрузку промывают с интенсивностью 12-14 л/(с·м²).

Для осветления высокомутных вод, а также для обезжелезивания и умягчения воды при соответствующем технико-экономическом обосновании можно применять поверхностную промывку стационарными или вращающимися устройствами (рис. 9.14).

Для стационарной распределительной системы интенсивность промывки составляет 3-4 л/(с·м²) при напоре воды 0,3-0,4 МПа, для вращающихся устройств – 0,50-0,75 л/(с·м²) при напоре 0,4-0,5 МПа.

Интенсифицировать работу скорых безнапорных фильтров с дренажной системой без поддерживающих слоев можно промывкой с неравномерной подачей воды. Промывная вода распределяется по площади фильтра (рис. 9.15) с различной интенсивностью, в результате чего зерна загрузки в зоне больших скоростей перемещаются вверх, а в зоне малых скоростей – вниз.

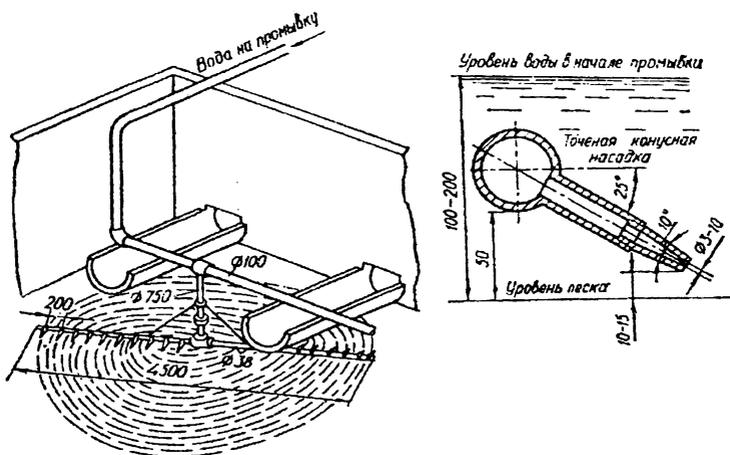


Рис. 9.14. Схема устройства для верхней промывки фильтра с помощью вращающейся трубки.

За счет перемешивания загрузки во всем объеме фильтра происходит качественная отмывка зерен и исключается гидравлическая сортировка фильтрующего материала, приводящая в фильтрах с обычной промывкой к росту потерь напора, снижению грязеемкости загрузки и сокращению фильтроцикла.

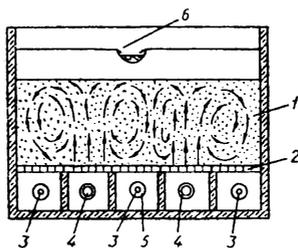


Рис. 9.15. Схема фильтра с чередующейся промывкой:
 1 – загрузка; 2 – полимербетонный дренаж; 3, 4 – диафрагмы большого и малого сопротивления; 5 – патрубки на входах в дренажные каналы; 6 – желоб для отвода промывной воды.

9.12. СКОРЫЕ НАПОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ

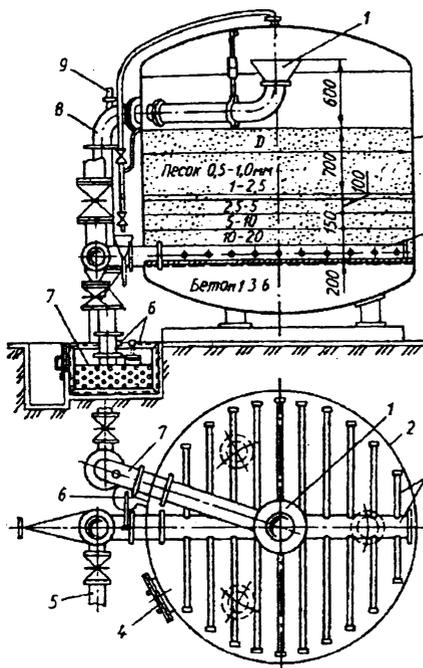


Рис. 9.16. Схема вертикального напорного фильтра:

- 1 – воронка; 2 – корпус; 3 – дренажная система;
4 – люк; 5 – трубы для отвода фильтрата; 6 – поплавок; 7 – лоток для промывной воды; 8 – трубопровод; 9 – предохранительный канал.

Скорые напорные фильтры (рис. 9.16) широко используются в промышленном водоснабжении для осветления воды после обработки ее коагулянтами без предварительного отстаивания, а также при безреагентном осветлении воды, содержащей до 50 мг/дм^3 взвешенных веществ. Они представляют собой закрытые вертикальные или горизонтальные резервуары со сферическими днищами, рассчитанные на рабочее давление до $0,6 \text{ МПа}$. Производительность каждого вертикального фильтра составляет $50\text{--}90 \text{ м}^3/\text{ч}$ (в зависимости от качества исходной воды).

Исходная вода поступает в корпус напорного фильтра 2 по трубопроводу 8, где распределяется воронкой 1.

Пройдя фильтрующую загрузку, вода через дренажную систему 3 по трубе 5 отводится в сеть. Воду для промывки подают через дренажную систему 3 в обратном направлении. Воронкой 1 по трубе 8, имеющей предохранительный клапан 9, вода отводится в лоток 7. Интенсивность промывки регулируется дроссельным клапаном с поплавком 6. На боковой поверхности фильтра расположены люки 4.

Диаметр выпускаемых отечественной промышленностью вертикальных напорных фильтров – $1,0\text{--}3,4 \text{ м}$, т. е. максимальная поверхность фильтрования не превышает $9,1 \text{ м}^2$. Увеличение диаметра фильтров сверх $3,4 \text{ м}$ приводит к техническим трудностям при транспортировке.

Применяют напорные вертикальные фильтры на станциях с

полезной производительностью до $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$, т. е., исходя из экономических соображений, фильтров должно быть 4-6. Если производительность станции большая и применить открытые железобетонные фильтры невозможно, устанавливают горизонтальные напорные фильтры диаметром 3 м и длиной 10 м, обеспечивающие площадь фильтрования до 27 м^2 .

Гравийные поддерживающие слои в напорных фильтрах, как правило, не устраиваются. Дренаж их представляет собой трубчатую магистраль с ответвлениями, снабженными фарфоровыми и пластмассовыми дренажными колпачками или щелями. Для водовоздушной промывки устраивают специальную распределительную систему или применяют колпачки типа В-1 для одновременной подачи воды и воздуха. Отводят воздух через вантуз, устраиваемый сверху фильтра.

Над дренажем располагают фильтрующую загрузку из кварцевого песка (мрамора, антрацита) с толщиной слоя 1 м. На боковой поверхности фильтра находится два люка, один для загрузки фильтрующего материала, другой – смотровой. На передней стенке фильтра (фронт фильтра) устанавливаются манометры и трубки с вентилями (для отбора проб фильтруемой воды и фильтрата, выпуска воздуха, для контроля спуска воды перед промывкой фильтра).

Расчетную скорость фильтрования для напорных фильтров принимают: при нормальном режиме с предварительным отстаиванием – 8, при форсированном – 10 м/ч ; при нормальном режиме без отстаивания – 4, при форсированном – 5 м/ч . Промывают фильтры восходящим потоком воды с интенсивностью $15 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ (загрузка – кварцевый песок и мраморная крошка) и $10 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ (загрузка – дробленый антрацит) в течение 6 мин. Сжатый воздух при водовоздушной промывке подают с интенсивностью $20 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ в течение 3 мин.

Насосные станции второго подъема в случае применения напорных фильтров не проектируют, поскольку напор насоса, подающего воду на фильтры, обеспечивает не только ее фильтрование, но и подачу в разводящую сеть.

9.13. СВЕРХСКОРЫЕ НАПОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Сверхскорый напорный фильтр конструкции Г.Н. Никифорова (рис. 9.17) работает при постоянном напоре с переменной скоростью фильтрования, уменьшающейся по мере загрязнения фильтра. Начальная скорость фильтрования составляет 50-100 м/ч. Фильтр представляет собой цилиндрический корпус с цилиндрической камерой внутри. Пространство между цилиндрами разделено вертикальными перегородками на восемь отсеков-фильтров с песчано-гравийной загрузкой. В

действии находятся семь отсеков, а один – на промывке. В связи с тем, что фильтр засоряется очень быстро, продолжительность фильтроцикла в каждом отсеке не превышает 1-2 ч.

Фильтруемая вода поступает по трубе 1 в распределительный колпак 2, а из него через щели 7 в отсеки-фильтры. Пройдя через фильтры, вода по щелям 8 и центральному цилиндру отводится по напорной трубе 9. Промывка фильтра автоматизирована. В верхней части его вращается патрубок, закрывающий верхнее щелевое окно камеры, которая подвигается на промывку, и выключающий ее из работы. Вода на промывку подается из междудонного пространства 5. Загрязненная промывная вода через патрубок 3 и центральный стояк 4 отводится к трубе 6.

Фильтры переключаются на промывку последовательно

специальным автоматическим устройством.

Загружают фильтр кварцевым песком с эффективным размером зерен 0,5 мм при толщине фильтрующего слоя 450 мм. Поддерживающим является слой гравия толщиной 300 мм.

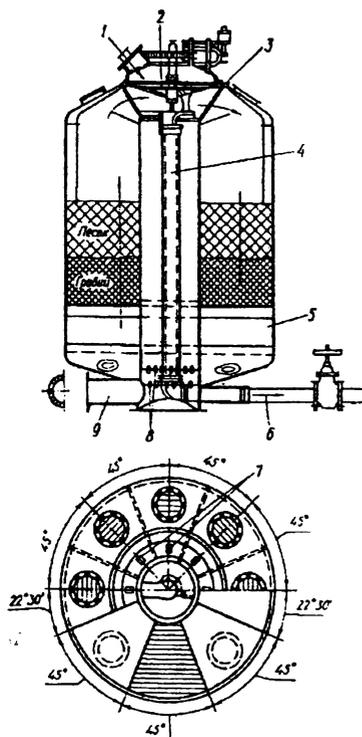


Рис.9.17. Схема сверхскоростного фильтра конструкции Г.Н. Никифорова.

Производительность сверхскорых фильтров при максимально допустимом диаметре составляет $150 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Учитывая, что производительность фильтра лимитируется его размерами и при диаметре фильтра 3000 мм не превышает $150 \text{ м}^3/\text{ч}$, Г.Н. Никифоров предложил батарейный тип сверхскорых напорных фильтров с автоматической системой промывки. Все фильтры, входящие в блок, связаны единым гидравлическим режимом и снабжены автоматическим дистанционным управлением.

9.14. ФИЛЬТРЫ-ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЫ

Для очистки воды на небольших автономных объектах в Институте коллоидной химии и химии воды АН Украины разработан типоразмерный ряд напорных фильтров-электролизеров типа ФЭМ (фильтр-электролизер многоцелевой) производительностью 1,3 и $6 \text{ м}^3/\text{ч}$, предназначенных для очистки и обеззараживания воды (рис. 9.18).

В корпусе фильтра над загрузкой расположен пластинчатый электролизер, выполненный из чередующихся алюминиевых пластин и пластин из нержавеющей стали. Расстояние между пластинами 13-15 мм. Электролизер крепится к съемному боковому фланцу, который имеет электрические контакты для подключения к источнику постоянного тока. Дозируют коагулянт при анодном растворении алюминия регулировкой силы тока.

Загрузка фильтра состоит из двух слоев: кварцевого песка и керамзита.

Фильтр оборудован верхним и нижним дренажами. Нижний дренаж выполнен из фарфоровых колпачков ВТИ-5, укрепленных на съемной панели. Верхним дренажем служит латунная сетка с размером ячеек, не превышающим диаметров зерен загрузки.

В верхней части фильтра расположена камера поплавкового клапана для автоматического выпуска образующихся в процессе

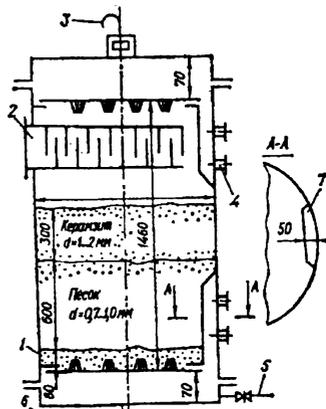


Рис. 9.18. Схема фильтра-электролизера типа ФЭМ:

- 1 - песок ($d = 0,7-1,0 \text{ мм}$);
- 2 - электролизер;
- 3 - трубка для выпуска газа (воздуха);
- 4 - патрубки с фланцами (штуцерами) для присоединения подводящего трубопровода;
- 5 - трубопровод для подачи воздуха;
- 6 - трубопровод для опорожнения фильтра;
- 7 - карман.

электролиза газов.

Регенерируют фильтрующую загрузку водовоздушной промывкой. При промывке фильтра под воздействием абразивных фракций загрузки поверхность электродных пластин очищается от пассивирующих отложений, образующихся в процессе работы фильтра. Использование сжатого воздуха интенсифицирует этот процесс и упрощает трудоемкие операции очистки электролизера. Фильтры-электролизеры используются в конструкциях водоочистных установок на речных судах и в схемах кондиционирования на морских судах.

9.15. КОНТАКТНЫЕ ОСВЕТИТЕЛИ И ФИЛЬТРЫ

Работа *контактных осветлителей и контактных фильтров* основана на использовании явления контактной коагуляции.

Контактные осветлители целесообразно применять на станциях любой производительности при одноступенчатых схемах очистки маломутных цветных вод, когда общее содержание взвешенных веществ в поступающей на контактные осветлители воде, включая взвесь, образующуюся в результате введения в воду реагентов, не превышает 120 мг/дм^3 при максимальной цветности 120 град. При большем содержании взвеси в воде резко возрастает расход на промывку контактных осветлителей. Наиболее эффективно применение контактных осветлителей, если период максимальных цветности и мутности не превышают 30-50 сут в год, а среднегодовая загрязненность воды составляет $20\text{-}30 \text{ мг/дм}^3$ по взвешенным веществам и 80-100 град. по цветности.

Объем сооружений очистки воды с применением контактных осветлителей уменьшается в 4-5 раз по сравнению с объемом сооружений обычного типа (двухступенчатые схемы). На 15-20 % уменьшается также расход коагулянтов.

Принцип действия контактных осветлителей основан на том, что на поверхности зерен загрузки при движении воды, обработанной коагулянтom, снизу вверх сорбируются коллоидные и взвешенные частички.

Контактные осветлители являются своеобразной разновидностью скорых безнапорных фильтров, работающих по принципу пропускания обрабатываемой воды с добавлением коагулянта через слой зернистой загрузки снизу вверх, т. е. в направлении убывания крупности зерен в слое. Отстойников перед контактными осветлителями не устраивают.

Так, в контактных осветлителях КО-3 (рис. 9.19) применяется

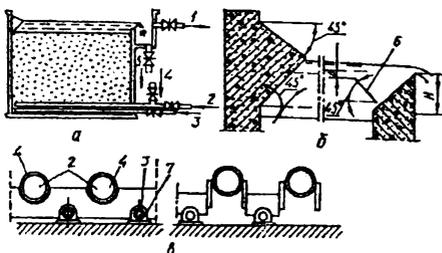


Рис. 9.19 Схемы контактного осветлителя типа КО-3 (а), излива воды при его промывке (б) и дренаж для водовоздушной промывки (в): 1 – фильтррат; 2 – сырая вода; 3 – подача воздуха; 4 – подача воды на промывку; 5 – отвод промывной воды; 6 – отбойный щиток; 7 – перегородки.

БТРС и водовоздушная промывка с горизонтальным отводом промывной воды. Отбор осветленной воды производится без желобов. Нижняя кромка водосливной стенки устанавливается на 20-30 мм выше поверхности фильтрующей загрузки. Воздух подается через трубчатую распределительную систему с интенсивностью 18-20 л/(с·м²) 1,0-2 мин;

водовоздушная промывка 6-7 мин с интенсивностью подачи воды 3-3,5 л/(с·м²) и воздуха 18-20 л/(с·м²); последующая промывка водой 5-7 мин с интенсивностью 6-7 л/(с·м²).

В контактных фильтрах, работающих с использованием 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 применяют крупнозернистый материал.

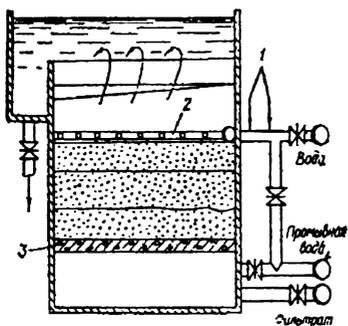


Рис. 9.20. Схема контактного фильтра КФ-5:

1 – подача реагентов; 2 – распределительная система; 3 – дренаж из пористого бетона.

Контактные фильтры КФ-2 имеют двухслойную загрузку (антрацитовая крошка крупностью 0,8-1,8 мм, высота слоя 0,7 м и кварцевый песок крупностью 0,5-1,2 мм, высота слоя 0,8 м). В контактных фильтрах КФ-3 загрузка однослойная крупнозернистая (кварцевый песок крупностью 0,9-1,8 мм, высота слоя 2 м), в КФ-5 (рис. 9.20) – трехслойная (высота каждого слоя по 0,5 м, крупность загрузки керамзита 3-5,

аглопорита 2-3, кварцевого песка – 0,5-1 мм). Скорость фильтрации в контактных фильтрах КФ-5 до 20 м/ч, интенсивность про-

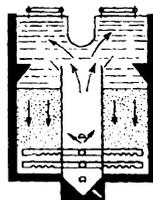
мывки – $15 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ в течение 6-8 мин.

В контактных фильтрах рекомендуется применять дренажи без поддерживающих слоев с распределительной системой из керамических пористых плиток или винипластовых щелевых труб. Грязеемкость их загрузки примерно такая же, как и у контактных осветлителей, эксплуатационные затраты несколько ниже. При использовании контактных фильтров отпадает необходимость в строительстве сооружений или установке специального оборудования для защиты распределительных систем от загрязнения.

Рекомендуется применение контактных фильтров для прямо-точных одноступенчатых схем очистки воды при общем содержании взвешенных веществ до $50\text{-}60 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

Глава 10.

УДАЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ВОДЫ МЕТОДОМ ФЛОТАЦИИ



10.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ФЛОТАЦИИ

Гетерофазные примеси из воды можно выделить, используя явление избирательного смачивания, лежащее в основе процесса флотации. Сущность этого процесса заключается в специфическом действии молекулярных сил, способствующих слипанию взвешенных веществ с пузырьками высокодиспергированного в воде воздуха и образованию на поверхности воды пенного слоя, насыщенного извлекаемым веществом. Элементарный акт пенной флотации состоит в том, что при сближении в воде газового пузырька с гидрофобной поверхностью частички взвеси разделяющий их тонкий слой становится неустойчивым и разрывается при достижении некоторого критического значения.

Вследствие кратковременности соприкосновения пузырька и частички при их столкновении (0,001-0,002 с) вероятность слипания определяется кинетикой формирования краевого угла смачивания.

Масса флотируемых частичек не должна превышать силы их прилипания к газовым пузырькам и подъемной силы последних. Оптимальная крупность извлекаемых частичек находится в пределах 10^{-3} - 10^{-1} см. Высокодисперсные примеси (частички диаметром менее 5-10 мкм) флотируются очень плохо и ухудшают извлечение крупных частичек. Интенсификация процесса флотации достигается гидрофобизацией поверхности дисперсных примесей реагентами, которые, избирательно сорбируясь на поверхности частичек, понижают их смачиваемость, в результате чего улучшается прилипание частичек примесей к пузырькам воздуха.

В некоторых случаях флотационную очистку воды сочетают с обработкой ее растворами коагулянтов и флокулянтов. При этом выделяющиеся $Al(OH)_3$ или $Fe(OH)_3$ сорбируют загрязняющие воду примеси, поверхность образующихся сверхмицеллярных агрегатов гидрофобизируется либо самими сорбированными веществами, например нефтями, либо добавлением поверхностно-активных веществ. После флотационного разделения гидрофобный осадок от-

рабочаных гидроксидов занимает значительно меньший объем и влажность его ниже, чем осадка, выделенного при отстаивании, что весьма важно, особенно при дезактивации воды.

В качестве гидрофобизирующих флотореагентов применяют анионоактивные, катионоактивные и неионогенные поверхностно-активные вещества. Они сорбируются на границе раздела «твердая фаза–вода» так, что полярные группы обращены к поверхности частичек, а неполярные – в воду, вследствие чего взвешенные вещества гидрофобизируются. В случае флотации солей щелочно-земельных металлов и основных минералов–оксидов обычно применяют высшие жирные кислоты и щелочные мыла, а также анионоактивные вещества – натриевые сульфаты высших спиртов, алкил- и алкиларилсульфонаты, содержащие углеводородные цепи с 12-18 атомами углерода. При флотации кварца и кислотных минералов используют катионоактивные вещества – высшие алифатические амины и соли четвертичных аммониевых оснований, содержащие цепи с 12 и более атомами углерода. Для флотации взвешенных веществ с аполлярной поверхностью (уголь, графит и др.) применяют различные масла, в состав которых входят углеводороды.

Реагентами-вспенивателями служат вещества, способные к адсорбции на границе раздела «вода–воздух» и умеренно стабилизирующие пену. Для этих целей используют продукты, содержащие терпеновые спирты, одноатомные алифатические спирты с 6-8 атомами углерода, крезолы и ксиленолы, монометилловые и монобутиловые эфиры полипропиленгликолей и др. Для регулирования щелочности воды применяют известь, соду, серную или соляную кислоту.

Флотацией воду можно освобождать не только от суспензированных твердых примесей, но и от нефтепродуктов, масел и других эмульгированных жидких веществ, а также от отдельных ионов растворенных в воде веществ, например радиоактивных. В последнем случае добавляемые реагенты должны образовывать поверхностно-активные комплексы с извлекаемыми ионами.

При пропускании через такую систему инертного газа на поверхности в виде пены накапливаются образовавшиеся поверхностно-активные комплексные соединения, содержащие извлекаемую примесь. Если в растворе есть несколько растворенных веществ с различной поверхностной активностью, то в процессе флотации возникает перспектива фракционного их разделения.

Исследователями установлена перспективность дезактивации радиоактивных вод, содержащих Sr^{90} , Y^{90} , Nb^{95} , Cs^{134} , введением в них твердых носителей (гидроксидов железа (III) и алюминия, фер-

роцианида меди) с последующей флотацией при добавлении соответствующих флотореагентов.

В настоящее время применяется множество методов насыщения жидкости пузырьками воздуха, среди которых по размерам пузырьков воздуха или газа можно выделить следующие: флотация с выделением воздуха из раствора – *вакуумные, напорные и эрлифтные* установки; флотация с механическим диспергированием воздуха – *импеллерные, безнапорные и пневматические* установки; флотация с подачей воздуха через пористые материалы, электрофлотация.

10.2. ФЛОТАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

Флотационные установки применяют для предварительного осветления и обесцвечивания маломутных цветных вод поверхностных источников (рек, озер, водохранилищ) в хозяйственно-питьевом или при соответствующем обосновании в промышленном водоснабжении. Они устраиваются при строительстве новых и реконструкции действующих водоочистных сооружений (переоборудование отстойников, осветлителей со слоем взвешенной контактной среды, отдельных емкостей и т. д.). Возможность и целесообразность их устройства в каждом конкретном случае обосновывается технологическими испытаниями или опытом работы установок в подобных условиях.

Содержание взвешенных веществ в воде, поступающей на флотационные установки (в расчете на высокодисперсную, труднооседающую взвесь), не должна превышать 150 мг/дм^3 , цветность – 200 град.

В водоподготовке практическое применение получили пневматические и механические флотационные установки. В пневматических установках насыщение воды воздухом и его диспергирование осуществляются воздухом, выделяющимся из воды в результате изменения давления, в механических – турбиной насосного типа.

Пневматические флотационные установки могут быть *напорными* и *вакуумными*.

Установка напорной флотации включает следующие основные технологические элементы: флотационную камеру, узел подготовки и распределения водовоздушной смеси, систему сбора и удаления флотационной пены.

На рис. 10.1 представлена схема флотационной камеры. Поступающая на обработку исходная вода 1 с введенными в нее реагентами (коагулянт, флокулянт, первичный хлор, извествковое молоко и т. д.), пройдя камеру хлопьеобразования, поступает на ос-

ветление во флотационную камеру 2, представляющую собой прямоугольный или круглый (в плане) железобетонный резервуар. Одновременно сюда же дырчатой распределительной системой 10 из напорного резервуара вводится водовоздушная смесь. Мельчайшие пузырьки воздуха прикрепляются к хлопьям скоагулированной взвеси и поднимают их вместе с загрязнениями на поверхность воды во флотационной камере, образуя слой пены 3. Для создания направленного движения потока воды и предотвращения циркуляции в зоне осветленной воды предусмотрено устройство под углом 60-70° струенаправляющей перегородки 9. Двигаясь вдоль нее, осветленная вода направляется под подвесную стенку 5 и через регулируемый водослив 6 отводится в канал осветленной воды 7, из которого по трубопроводу 8 поступает на фильтровальные установки. Для отвода флотационной пены 3 предусмотрены легкие подвесные лотки 4, в которые она периодически или постоянно сбрасывается при подъеме уровня воды во флотационной камере 2. Для удаления пены могут применяться также ленточные или помещенные на подвижную тележку скребковые механизмы.

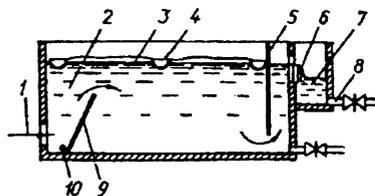


Рис.10.1. Схема флотационной камеры.

Удельная нагрузка на 1 м^2 площади флотационной камеры составляет $6-8 \text{ м}^3/\text{ч}$, длительность пребывания воды в ней – 20-30 мин, высота слоя воды – 1,5-2,5 м.

Схема установки для подготовки водовоздушной смеси представлена на рис. 10.2. Профильтрованная вода подводится к насосу, подается в верхнюю часть напорного резервуара, разбрызгивается дырчатой распределительной системой и стекает тонким пленочным слоем по загруженной в резервуар керамической насадке в виде колец Рашига размером 25×25 или 50×50 мм. В нижнюю часть резервуара компрессором с рабочим давлением $0,6-0,8 \text{ МПа}$ подается воздух, который, двигаясь навстречу стекающей воде, образует водовоздушную смесь, по-

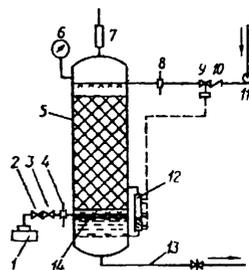


Рис.10.2. Схема установки для подготовки водовоздушной смеси:

1 – компрессор; 2, 10 – обратные клапаны; 3 – вентиль; 4, 8 – расходомеры; 5 – напорный резервуар; 6 – манометр; 7 – предохранительный клапан; 9 – регулирующий клапан; 11 – насос; 12 – уровень; 13 – отвод воздушной смеси; 14 – поддерживающая металлическая или деревянная решетка.

ступающую во флотационную камеру. Длительность контакта воды и воздуха составляет 2-3 мин. Устойчивый режим работы установки обеспечивается поддержанием постоянного уровня водовоздушной смеси в баке. Это достигается устройством системы автоматизации, которая координирует работу уровнемера 12 и регулирующего клапана 9.

Схема наиболее распространенной механической флотационной установки с центробежным импеллером приведена на рис. 10.3.

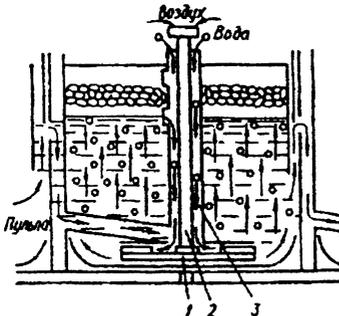


Рис.10.3. Схема механической флотационной установки с центробежным импеллером.

Импеллер 1, представляющий собой диск с радиальными лопатками, укреплен на вертикальном валу 2, помещенном в обсадной трубе 3. Верхний конец обсадной трубы находится над уровнем пены, а нижний опирается на приемный колпак с присоединенной к нему надимпеллерной крышкой. При вращении импеллера в приемном колпаке создается вакуум, вследствие чего в него засасывается обрабатываемая вода и воздух. Водовоздушная смесь выбрасывается в нижнюю часть камеры, а собирающийся на поверхности слой пены сгоняется в лоток. Очищенная вода отводится из нижней части камеры.

Объем W и поверхность F флотационных камер рассчитывают по формулам

$$W = 0,025Qt; \quad F = \frac{W}{h},$$

где Q – расход обрабатываемой воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; t – длительность флотации, мин; h – рабочий уровень слоя воды во флотационной камере, м.

Общую высоту камеры принимают на 0,4-0,5 м выше рабочего уровня воды.

Флотационные камеры с турбинами насосного типа принимают квадратными (в плане) с длиной стороны b , равной $6d$ (d – диаметр турбины, м). Поверхность f , обслуживаемая одной турбиной, не более $36d^2$, необходимое число турбин $n = F/f$. В одной большой камере можно размещать два-три блока флотомашин с самостоятельными воздушными трубами, отбойниками и приводами.

Количества воздуха q_B и воды q_{H_2O} , засасываемых турбиной, составляют

$$q_B = 0,000278 \cdot C, \quad q_{H_2O} = \mu\omega\sqrt{2gH},$$

где C – расход воздуха на единицу площади флотационной камеры (принимается $40-50 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$); μ – коэффициент расхода, равный $0,65$; ω – площадь отверстий, через которые обрабатываемая вода поступает к турбине (принимается $0,008-0,010 \text{ м}^2$); g – ускорение свободного падения; H – напор, под которым вода поступает к турбине (равен кажущейся плотности обрабатываемой воды, насыщен- ной воздухом, $\gamma_{н.в.}$):

$$\gamma_{н.в.} = 0,67 \gamma_{H_2O},$$

где γ_{H_2O} – плотность воды, МПа).

Статический напор $H_{ст}$, необходимый для преодоления сопро- тивления столба жидкости над турбиной, составляет

$$H_{ст} = \varphi \frac{U^2}{2g},$$

где φ – коэффициент напора, равный $0,2-0,3$; U – окружная скорость, м/с.

Мощность на валу флотационной машины N при КПД флото- машины $\eta = 0,2-0,3$ составляет

$$N = \frac{V_{н.в.} H_{ст} (q_v + q_{H_2O})}{102 \eta}.$$

Число оборотов $n_{об}$, и мощность электродвигателя $N_{эл}$ рассчитывают по формулам

$$n_{об} = 60 \frac{m}{\pi d}; \quad N_{эл} = K \frac{N}{\eta_{эл}},$$

где d – диаметр турбины, м; K – коэффициент запаса, равный $1,1-1,4$; $\eta_{эл}$ – КПД электродвигателя.

Электродвигатель размещают над поверхностью воды во фло- тационной камере с пропуском вала по воздушной трубе. Пеносни- матель снабжен отдельным электродвигателем с редуктором. Ско- рость вращения пеноснимателя 15 об/мин. Пеносборный резервуар рассчитан на полутора-двухчасовое пребывание обводненного флотируемого вещества.

Объем и высоту камер при напорной флотации также рассчи- тывают по приведенным ранее зависимостям. Расход потребляемо- го воздуха составляет примерно $0,9-1,2\%$ общего количества об- рабатываемой воды.

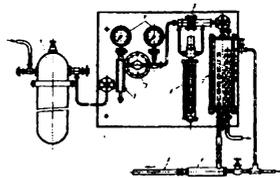
Флотационные установки при подаче воздуха через различные пористые материалы по сравнению с рассмотренными выше способами насыщения жидкости воздухом отличаются простотой конструкции флотационных камер, уменьшением энергозатрат, отсутствием сложных механизмов (насосы, импеллеры). Их недостаток – возможность зарастания и засорения пор и трудность подбора мелкопористых материалов, обеспечивающих подачу

копористых материалов, обеспечивающих подачу мелких и близких по размерам пузырьков.

В электрофлотационных установках обрабатываемую воду пропускают в поле между электродами, на поверхности которых образуются пузырьки газа (водород, кислород). Могут применяться нерастворимые и растворимые электроды. При использовании растворимых электродов процесс электрофлотации сопровождается процессом электрокоагуляции, что повышает эффективность флотации.

Глава 11.

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ОКИСЛИТЕЛЯМИ



11.1. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА И МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Полное удаление болезнетворных микроорганизмов при осветлении и обесцвечивании воды коагулированием с последующим отстаиванием и фильтрованием не обеспечивается даже при условии предварительного хлорирования воды. Примерно 1-10% хлоррезистентных вирусов и бактерий, среди которых могут оказаться и болезнетворные, сохраняют свою жизнеспособность.

По данным эпидемиологических и вирусологических наблюдений кишечные вирусы, в особенности энтеровирусы, могут содержаться даже в питьевой воде систем централизованного водоснабжения.

Вода, загрязненная кишечными вирусами, является причиной распространения таких заболеваний, как полиомиелит, серозный менингит, гепатиты, гастроэнтериты, кератоконъюнктивитная лихорадка и др.

Поэтому заключительным этапом улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых нужд является ее обеззараживание. Постоянно обеззараживают воду из поверхностных водных объектов, подземные воды в большинстве случаев подают без обеззараживания.

Процесс обеззараживания воды контролируют, определяя общее число бактерий и количество бактерий группы кишечной палочки в 1 дм³ воды после ее обеззараживания.

Впервые объективный критерий бактериологической оценки качества воды дал в 1892 году знаменитый бактериолог Роберт Кох, который установил, что если в 1 мл воды содержится 100 безвредных бактерий, то она безвредна.

Согласно требованиям СанПиН 10-124 РБ 99 безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям.

Обеззараживание воды на коммунальных и промышленных водопроводах может быть достигнуто применением ряда окислителей: хлора, гипохлорита натрия, хлораминов, хлорной извести, озона, перманганата калия, йода и др.

Метод обеззараживания воды следует выбирать с учетом расхода и качества воды, эффективности ее очистки, надежности обеззараживания, технико-экономических соображений, возможности автоматизации процесса, механизации трудоемких работ, условий поставки и хранения реагентов.

11.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ХЛОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

Впервые обработка больших количеств воды хлором была применена в Германии в 1894 г. А. Траубе, который использовал в качестве реагента хлорную известь. Благодаря хорошим результатам, хлорирование воды вскоре получило повсеместное распространение. В 1910 г. в Англии, Германии и США, а затем и в других странах хлорная известь была заменена газообразным хлором.

Хлорирование больших количеств воды в России было впервые осуществлено в 1910 г. как принудительная мера во время эпидемий холеры на Кронштадтском и брюшного тифа на Нижегородском водопроводе. Вначале воду хлорировали раствором хлорной извести. Первые опыты по применению газообразного хлора были осуществлены в 1917 г. на Петроградской водопроводной станции. Однако широкое использование газообразного хлора для дезинфекции воды началось лишь в 1928-1930 гг., когда появились первые советские аппараты-хлораторы. Хлорирование является наиболее распространенным, а иногда и единственным процессом, используемым на многих водопроводах с целью дезинфекции воды.

Однако метод хлорирования воды в последние годы подвергается серьезной критике вследствие образования в процессе водоподготовки хлорорганических соединений – хлороформа, бромдихлорметана, дибромхлорметана, трибромметана, хлоритов, хлоратов, монохлораминов и др., обладающих повышенной токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью. Их концентрация часто достигает опасных величин и превышает предельно допустимые концентрации, установленные Всемирной организацией здравоохранения (30 мг/дм³).

Хлорируют воду не только из открытых источников, но и почти из всех артезианских скважин. При хлорировании воду обрабатывают газообразным хлором или препаратами, содержащими активный

хлор* – гипохлоритами кальция или натрия, хлорной известью, оксидом хлора (IV), хлораминами.

11.3. ХЛОР И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Хлор – ядовитый газ, в 2,45 раза тяжелее воздуха. Может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. При атмосферном давлении (0,1 МПа) хлор представляет собой газ зеленовато-желтого цвета с резким, неприятным запахом. Жидкий хлор – подвижная маслянистая жидкость с плотностью при температуре 15 °С 1,427 г/см³. С понижением температуры до -102 °С хлор твердеет, образуя мелкие кристаллы темно-оранжевого цвета с плотностью 2,147 г/см³.

Растворимость хлора в воде убывает с повышением температуры примерно так:

Температура воды, °С	0	1	20	25
Растворимость хлора, г/дм ³	14,60	9,97	7,29	6,40

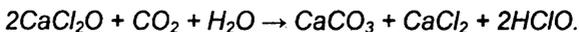
При охлаждении хлорной воды до температуры заморзания она разделяется на чистый лед, лишенный даже запаха хлора, и гидрат $Cl_2 \cdot 8H_2O$.

Жидкий хлор содержит не менее 99,8% Cl_2 , в воде растворяется плохо. Содержание воды в жидком хлоре составляет не более 0,06 мас. %. Ввиду плохой растворимости жидкого хлора в воде воду на водопроводах хлорируют только газообразным хлором.

Хлорная известь $CaCl_2O$ представляет собой белый порошок с резким запахом и обладает сильными окислительными свойствами. Ее получают воздействием хлора на сухую гашеную известь:



Во влажном воздухе под действием оксида углерода (IV) хлорная известь постепенно разлагается с выделением хлорноватистой кислоты:



Хлорид кальция, входящий в состав хлорной извести, являясь гигроскопичным веществом, ухудшает качество реагента. Поэтому хлорную известь следует хранить в затемненном, сухом, вентилируемом помещении в закрытой (но не герметически) таре. Содержание активного хлора в хлорной извести в зависимости от ее марки

* *Активный хлор* – хлор, входящий в состав хлорсодержащих веществ и способный при определенном значении pH выделять эквивалентные количества йода из водных растворов йодида калия.

составляет 32-35 %.

Гипохлорит натрия $\text{NaClO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – кристаллогидрат, легко переходит в $\text{NaClO} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Получают электролизом раствора NaCl без диафрагмы. При этом вначале выделяются Cl_2 (на аноде) и NaOH (на катоде), которые, взаимодействуя друг с другом, образуют NaClO :



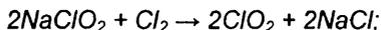
Анализом сравнительных исследований В.А. Усольцева, В.Д. Соколова и Т.А. Краснова установлено, что, независимо от времени года и содержания органических и неорганических веществ в обрабатываемой воде при хлорировании жидким хлором и техническим гипохлоритом натрия, концентрация токсичных галогенсодержащих соединений ниже в воде, подготовленной с использованием гипохлорита натрия.

Гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ – белый пылящий порошок с содержанием $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ до 90%, стойкое вещество. Получают насыщением хлором водной суспензии гидроксида кальция при температуре 25-30 °С:



Содержание активного хлора в гипохлорите кальция в зависимости от способа его получения составляет 40-72%.

Оксид хлора (IV) представляет собой зеленовато-желтый ядовитый газ с более интенсивным запахом, чем у хлора. Оксид хлора (IV) легко взрывается от электрической искры, на прямом солнечном свете или при нагревании до температуры свыше 60 °С. При соприкосновении со многими органическими веществами ClO_2 взрывоопасен уже при обычной температуре. Окислительный потенциал ClO_2 в кислой среде 1,5 В. Растворимость оксида хлора (IV) в воде при температуре 25 °С 81,06, при 40 °С – 51,4 г/дм³. Водные растворы его по сравнению с хлорной водой имеют более интенсивную желто-зеленую окраску. Оксид хлора (IV) получают непосредственно на водопроводных станциях в результате взаимодействия хлорита натрия с хлором, разбавленной соляной кислотой или озоном:



Оксид хлора (IV) имеет преимущества по сравнению с хлором. Он обладает значительно более высоким дезодорирующим и бактерицидным действием, наличие аммиака в воде не влияет на его окислительные свойства. При обработке вод, содержащих

окислительные свойства. При обработке вод, содержащих фенолы, не появляются хлорфенольные запахи, поскольку фенол практически полностью окисляется ClO_2 до хинона ($C_6H_4O_2$) и малеиновой кислоты ($C_4H_4O_4$), которые в малых концентрациях не имеют ни запаха, ни вкуса. Большое значение имеют органические и неорганические хлорамины. *Органическими хлораминами* называются производные аммиака, у которых один атом водорода замещен органическим радикалом, а второй или даже оба оставшиеся водородные атомы – хлором ($R-NHCl$ или $R-NCl_2$).

Хлорамины жирного ряда в большинстве случаев жидкости. Некоторые из них дымят на воздухе, легко отщепляют хлор, обладают ярко выраженными окислительными свойствами и могут быть использованы как хлорирующие реагенты в тех случаях, когда желательно избежать побочных реакций, протекающих при хлорировании свободным хлором. Большинство хлораминов жирного ряда растворимо в воде.

Почти все хлорамины ароматического ряда являются твердыми кристаллическими веществами, легко отщепляющими хлор. Они обладают сильными окислительными свойствами, в водных растворах гидролизуют на амид и $HClO$. К этому типу относятся хлорамины технических марок Т и Б, представляющие собой белые, очень стойкие, растворимые в воде вещества, содержащие соответственно 29 и 30% активного хлора; дихлорамины Т и Б – белые порошки, содержащие до 52% активного хлора и растворимые в уксусной кислоте и, наконец, пантосепт – белый порошок, содержащий 26,2% активного хлора, растворимый в водном растворе соды.

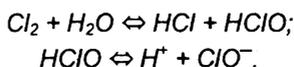
К *неорганическим хлораминам* относятся вещества, получающиеся в результате взаимодействия хлора с аммиаком или солями аммония. Они обладают окислительными свойствами и потому могут применяться для обеззараживания воды.

В некоторых случаях на водоочистных станциях используют хлорирование совместно с аммонизацией, что также можно рассматривать как процесс обработки воды хлораминами.

Из всех перечисленных реагентов в практике обеззараживания воды чаще всего применяют хлор и хлорную известь.

11.4. ХИМИЗМ ПРОЦЕССА ХЛОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

Гидролиз хлора идет по уравнению:



При температуре 25 °С константы гидролиза K_r и диссоциации

K_D хлора соответственно равны

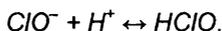
$$K_{\Gamma} = \frac{[HClO][H^+][Cl^-]}{[Cl_2]} = 4,05 \cdot 10^{-4};$$

$$K_D = \frac{[H^+][ClO^-]}{[HClO]} = 2,7 \cdot 10^{-8}.$$

Чем больше K_D , тем больше концентрация ионов при равновесии, тем сильнее диссоциирует данный электролит.

Хлорноватистая кислота существует только в растворе. Равновесие процесса ее гидролиза зависит от pH среды.

Гидролиз гипохлорита кальция (натрия) и хлорной извести также зависит от pH среды и происходит с образованием гипохлорит-ионов и хлорноватистой кислоты:



Соотношения между недиссоциированной хлорноватистой кислотой $HClO$ и гипохлорит-ионом ClO^- в воде при различных значениях pH представлены на рис. 11.1, а. Из рисунка видно, что при pH = 7-8 главным дезинфицирующим соединением является хлорноватистая кислота.

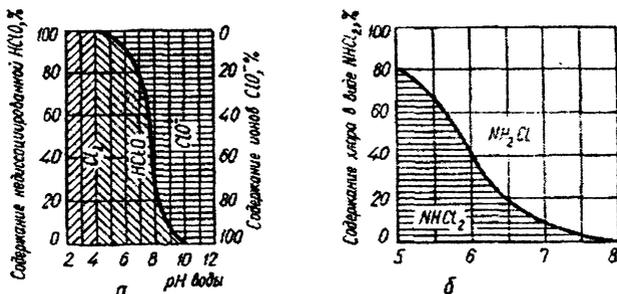


Рис. 11.1. Формы соединений хлора при различных значениях pH среды: а - $Cl_2 - HClO - ClO^-$; б - монохлорамины - дихлорамины.

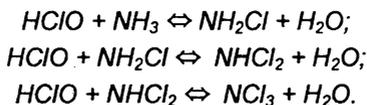
Процесс обеззараживания воды хлором протекает в две стадии: сначала хлор диффундирует через оболочку клетки микроорганизма, затем вступает в реакцию с ферментами. Скорость процесса определяется кинетикой диффузии хлора внутрь клетки и интенсивностью отмирания клеток вследствие нарушения метаболизма. С увеличением концентрации хлора в воде, повышением ее температуры и переводом хлора в сравнительно легко диффундирующую, недиссоциированную форму общая скорость про-

цесса обеззараживания возрастает.

С повышением значения pH бактерицидность хлора в воде уменьшается. Например, для снижения количества бактерий в воде на 90% при дозе свободного хлора 0,1 мг/дм³ необходимое время контакта увеличивается с 6 до 180 мин при повышении значения pH соответственно от 6 до 11. Отсюда вытекает, что воду следует обеззараживать хлором при возможно более низких значениях pH до введения в нее извести или других щелочных реагентов.

Присутствующие в воде и способные к окислению органические соединения, восстановители, а также коллоидные и взвешенные вещества, обволакивающие бактерии, замедляют процесс обеззараживания воды.

Хлор, гипохлоритная кислота и гипохлориты взаимодействуют с присутствующими в воде аммиаком, аммонийными или органическими солями, содержащими аминогруппы, образуя при этом моно- и дихлорамины, треххлористый азот:



При гидролизе полученных соединений выделяется активный хлор, поэтому они также обладают бактерицидным действием.

Различают хлор *свободный* (молекулярный хлор, хлорноватистая кислота и гипохлорит-ионы) и *связанный* (хлор, входящий в состав хлораминов). Свободный хлор в 20-25 раз более бактерициден, чем связанный. В зависимости от pH воды изменяется соотношение между моно- и дихлораминами при введении в воду хлора в присутствии аммиака (рис. 11.1, б). С увеличением pH воды уменьшается содержание связанного хлора в дихлораминах и увеличивается остаток его в монохлораминах, бактерицидное действие которых в 3-5 раз слабее, чем дихлораминов. Бактерицидность хлораминов в 8-10 раз выше, чем хлорпроизводных органических аминов и иминнов. Это объясняется большой скоростью гидролиза хлораминов, поэтому гипохлорит-ион выделяется быстрее.

Если источник водоснабжения ненадежен в санитарном отношении, воду из него необходимо обрабатывать таким количеством хлорсодержащего реагента, чтобы

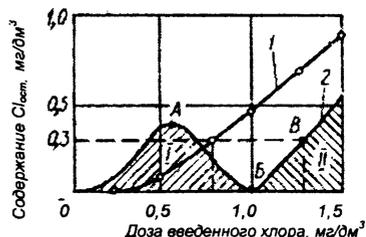
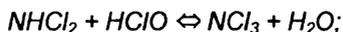


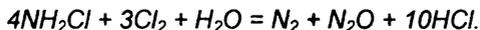
Рис. 11.2. Хлоропоглощаемость воды при отсутствии (1) и при наличии (2) в ней аммонийных солей:
I — моно- и дихлорамины; II — свободный хлор.

доза остаточного свободного хлора в воде составляла не менее 0,3 мг/дм³ при минимальной длительности контакта 30 мин, т. е. производят пробное хлорирование воды.

Для гарантии обеззараживающего действия в воде поддерживают остаточные концентрации свободного или связанного активного хлора. На рис. 11.2 приведены зависимости между дозой введенного хлора и остаточным хлором при отсутствии и при наличии в воде аммиака или аммонийных солей. В первом случае наблюдается монотонно возрастающая кривая, во втором – хлор связывает содержащиеся в воде аммонийные соли в хлорамины, и на кривой появляются максимум и минимум. В зависимости от pH воды, при молярном соотношении $Cl_2 : NH_4^+ < 1 : 1$ будут образовываться моно- и дихлорамины. Поэтому на участке кривой до точки А весь остаточный хлор связан в хлорамины. Увеличение дозы хлора приводит к тому, что молярное соотношение введенного хлора и содержащегося в воде иона NH_4^+ будет больше единицы, после чего начнется окисление моно- и дихлораминов хлорноватистой кислотой по уравнениям



Максимум на кривой остаточного хлора при наличии в воде аммиака отвечает образованию монохлорамина, минимум объясняется окислением последнего избыточным хлором по уравнению



При доведении молярного соотношения введенного в воду хлора и содержащихся в ней аммонийных солей до 2 (10 мг Cl_2 на 1 мг N_2 в виде NH_4^+) все хлорамины будут окислены (точка Б) и содержание остаточного хлора уменьшится практически до нуля; эта точка называется *точкой перелома*. При дальнейшем увеличении дозы хлора концентрация остаточного хлора, который находится уже в виде свободного активного хлора и имеет более высокую бактерицидность (точка В), начнет повышаться. Действие его на бактерии и вирусы аналогично действию активного хлора при отсутствии в воде аммиака и аммонийных солей.

На бактерицидный эффект хлорирования значительно влияет начальная доза хлора и продолжительность сохранения в воде его некоторой остаточной концентрации. Даже в случае значительного бактериального загрязнения доза хлора 1 мг/дм³ обеспечивает

удовлетворительное качество воды при достаточном времени контакта. Полная дезинфекция при хлорировании такими дозами обычно не достигается. Время контакта колеблется от 15 с до нескольких часов. Считают, что время контакта хлора с водой, необходимое для ее дезинфекции, составляет от 30 мин до 2 ч. Действие хлора особенно сильно проявляется в течение первого получаса. При этом из патогенных микроорганизмов наиболее чувствительными к хлору являются бациллы брюшного тифа, дизентерии и холерный вибрион. Паратиф В и микрококк более резистентны: на споровые формы хлор почти не действует.

Количество хлора, поглощаемого примесями, определяется как *хлоропоглощаемость воды*, которая представляет собой разницу между количеством введенного в обеззараживаемую воду хлора и его концентрацией в воде через некоторое время (обычно 30 мин).

От хлоропоглощаемости воды зависит необходимая бактерицидная концентрация остаточного хлора, т. е. она неразрывно связана с общей *хлоропотребностью* обеззараживаемой воды, которая представляет собой сумму хлоропоглощаемости воды и заданной концентрации остаточного хлора в ней. Это указывает на соизмеримость скоростей процессов дезинфекции и окисления органических и неорганических веществ, содержащихся в природных водах. Увеличение хлоропоглощаемости воды улучшает бактерицидный эффект хлорирования при равной концентрации остаточного хлора, так как начальная доза хлора в этом случае всегда выше.

Поскольку количество бактерий в природной воде не превышает коли-индекса 1 000-10 000, концентрация остаточного хлора $0,5 \text{ мг/дм}^3$ при времени контакта 30 мин обеспечивает, как правило, санитарные требования, предъявляемые к воде по бактериологическим показателям ее качества.

Однако при хлорировании с аммонизацией и обработке воды хлорной известью время контакта увеличивают до 1 ч, в случае хлорирования хлорной известью совместно с аммиаком – до 1,5 ч.

Приблизительно необходимую дозу хлора для воды поверхностных источников принимают $2-3 \text{ мг/дм}^3$, для подземных вод – $0,7-1,0 \text{ мг/дм}^3$. Высокие результаты хлорирования могут быть достигнуты благодаря быстрому и полному перемешиванию хлора с водой.

Содержание остаточного свободного хлора в резервуаре чистой воды после 30-ти минутного контакта должно составлять $0,3-0,5 \text{ мг/дм}^3$, связанного после 60-ти минутного контакта – $0,8-1,2 \text{ мг/дм}^3$.

Вводить хлорсодержащие реагенты для обеззараживания воды следует в трубопровод отфильтрованной воды, а для подземных вод, не подвергаемых обработке, – перед резервуарами чистой воды.

11.5. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ХЛОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

Хлорирование воды – постоянное мероприятие, осуществляемое на коммунальных водопроводах и станциях по обработке технических и сточных вод. Кроме того, хлорирование проводится и как кратковременное или периодическое мероприятие, необходимое для дезинфекции вводимых в эксплуатацию участков водопроводной сети, фильтров, резервуаров чистой воды и т. п. При уточнении методики хлорирования необходимо учитывать назначение этого процесса, наличие и характер имеющихся в воде загрязнений, возможные колебания в составе примесей воды и специфические особенности водоочистных сооружений.

Исходя из различных целей хлорирования существующие методы обработки воды хлором или солями, содержащими активный хлор, можно объединить в две основные группы: постхлорирование и прехлорирование воды.

Постхлорирование – это процесс обеззараживания воды, который применяется после всех других способов ее обработки, т. е. является завершающим этапом очистки воды. Если вода не подвергается другой обработке, кроме обеззараживания, то это будет постхлорирование, т. е. конечное хлорирование.

Постхлорирование может производиться как небольшими (*нормальное хлорирование*), так и повышенными дозами хлора (*перехлорирование*); оно может применяться и совместно с другими обеззараживающими реагентами (*комбинированное хлорирование*).

Нормальное хлорирование используется в случае небольшого загрязнения воды. При этом дозы хлора устанавливаются такими, чтобы вкусовые качества воды не снижались. Количество остаточного хлора после 30 мин контакта воды с хлором допускается не более $0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Перехлорирование применяется тогда, когда нормальное хлорирование не дает требуемого бактерицидного эффекта или приводит к ухудшению органолептических показателей воды, например при наличии в воде фенолов. Перехлорированием устраняют многие неприятные привкусы, запахи, уничтожают бактерии, очищают воду от некоторых отравляющих веществ (ОВ). Перехлорирование питьевой воды не только вызывает гибель микроорганизмов, но и уничтожает некоторые органические вещества, которыми питаются бактерии.

Доза остаточного хлора при перехлорировании обычно устанавливается в пределах $1-10 \text{ мг/дм}^3$. Известны случаи, когда перехлорирование производилось дозами 100 мг/дм^3 . Излишек хлора, превышающий допустимую в воде норму, удаляется *дехлорирова-*

нием. При небольшом избытке хлор удаляют азрированием, при большом – химическими методами, например, обработкой воды гипосульфитом, сульфитом или дисульфитом натрия, аммиаком, дехлорированием воды SO_2 , фильтрованием через зернистый активированный уголь.

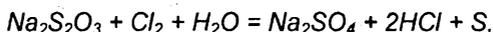
Количество гипосульфита натрия, необходимое для дехлорирования воды, колеблется в широких пределах в зависимости от условий протекания реакции.

При избытке гипосульфита натрия реакция протекает по уравнению



В этом случае на 1 мг хлора расходуется 7,1 мг $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$.

При недостатке гипосульфита натрия реакция протекает с образованием коллоидной серы



причем на 1 мг хлора в этом случае расходуется 3,5 мг $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$.

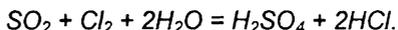
Используемые на практике соотношения между хлором и гипосульфитом натрия колеблются в пределах 0,8-7,1 по массе. Необходимую дозу гипосульфита натрия обычно определяют пробным дехлорированием.

Реакция дехлорирования воды сульфитом натрия описывается уравнением



причем на 1 мг хлора расходуется 3,5 мг $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$.

При использовании сжиженного оксида серы (IV) для дехлорирования воды реакция протекает по уравнению



В данном случае на 1 мг хлора требуется 0,9 мг SO_2 .

Этот метод дехлорирования воды достаточно перспективен. Применение SO_2 в технике удобно благодаря дешевизне и возможности дозировать его непосредственно из баллонов или бочек обычной хлораторной аппаратурой.

Эффективным является дехлорирование воды обработкой ее дозами аммиака, соответствующими образованию и разрушению хлораминов под влиянием избыточного хлора. Соотношение хлора и аммиака в этом случае должно отвечать точке перелома, причем практически на 1 мг избыточного активного хлора необходимо ввести 0,13 мг аммиака.

Некоторые преимущества по сравнению с описанными спосо-

бами имеет дехлорирование воды *фильтрованием ее через гранулированный активированный уголь*. В этом случае в воду не вводятся дополнительные количества химических веществ. Уголь же поглощает не только избыточный хлор, но и многие другие примеси, благодаря чему органолептические показатели воды значительно улучшаются. Этот процесс протекает автоматически, и контроль за ним не сложен. Для регенерации угольных фильтров их промывают подогретым раствором щелочи, а затем водой.

Прехлорирование воды производится перед другими методами ее обработки. Его можно использовать в качестве химического средства, улучшающего некоторые процессы очистки воды (например, коагулирование, отстаивание, фильтрование, обесцвечивание), как эффективный способ ее дезинфекции при заражении некоторыми ОВ и значительном бактериальном загрязнении.

Как правило, прехлорирование осуществляется большими дозами хлора, но в отличие от перехлорирования оно не требует последующего дехлорирования воды, поскольку избыточное количество хлора обычно полностью удаляется при дальнейших процессах ее обработки. Избыточный хлор расходуется на окисление различных примесей воды, сорбируется хлопьями коагулянта, окисляет микроорганизмы, развивающиеся на поверхности и в толще загрузки фильтров, и т. д.

Практическое использование процесса хлорирования воды в основном охватывается пре- и постхлорированием. В практике очистки воды нередко применяется *двойное хлорирование* (как пре-, так и постхлорирование). В этом случае к каждому из процессов предъявляют различные требования: первичное хлорирование проводят для подготовки воды к последующим этапам ее очистки, конечное – обеспечивает необходимую концентрацию остаточного хлора в воде, гарантирующую ее нужное санитарное качество.

При очистке малоцветных маломутных вод можно применять *раздельную обработку воды реагентами*. Сущность ее заключается в том, что в нескольких блоках очистных сооружений воду обрабатывают повышенными дозами хлора (5-15 мг/дм³), а в остальных – оптимальными дозами коагулянта и хлора. При подаче на фильтры 15-50% хлорированной воды и 85-50% очищенной по нормальной технологической схеме фильтрат получается совершенно прозрачным: его цветность и мутность соответствуют стандарту. При раздельной обработке воды часто отпадает необходимость в ее подщелачивании, так как подкисляющее действие повышенных доз хлора незначительно.

11.6. УСТАНОВКИ ДЛЯ ХЛОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

В настоящее время эксплуатируются несколько типов установок для приготовления и дозирования растворов, содержащих активный хлор.

К первому типу относятся установки по хлорированию воды *хлорной известью* или другими солями, содержащими активный хлор (типовые установки для хлорной извести, установки И.В. Новопашенного и др.). Принцип их действия сводится к приготовлению раствора требуемой концентрации и последующей подаче его в воду в виде отдозированной струи. Эти установки чрезвычайно просты, но громоздки, эксплуатация их трудоемка, поскольку требуется частая загрузка реагентов, растворение их в воде и длительное отстаивание растворов, перед введением в обрабатываемую воду. Для обеззараживания воды ранее приготовленным раствором определенной концентрации работа установки сводится лишь к его дозированию.

Такие установки применяются на очистных сооружениях производительностью 5-10 тыс. м³/сут.

Установки второго типа – более совершенные, работают на сжиженном хлоре и называются *хлораторами*. В этих установках последовательно осуществляется испарение хлора, его механическая очистка, дозирование и растворение в воде. Хлорирование производится выходящей из хлоратора хлорной водой или газообразным хлором, смешиваемым с обрабатываемой водой в специальных устройствах.

Хлораторы механизированы и компактны; они бывают разных типов, мощностей и имеют различное назначение.

Применяемые хлораторы (конструкции Б.М. Ремесницкого, Л.А. Кульского и др.) по характеру работы можно разделить на приборы *непрерывного* и *порционного* дозирования реагентов; по условиям работы – на *стационарные* и *переносные*; по принципу действия – на *напорные* и *вакуумные*.

Хлораторы непрерывного дозирования в основном являются стационарными аппаратами, предназначенными для стационарных водоочистных установок. В зависимости от назначения их изготовляют разной производительности (от 0,85 до 75 кг Cl₂/ч и более).

Хлораторы порционного дозирования обычно переносные, приспособленные для периодического использования. Они предназначены для отмеривания небольших доз газа и приготовления отдельных порций раствора для хлорирования небольших объемов воды (ведро, бак, цистерна).

Хлораторы бывают двух систем: напорные и вакуумные.

Независимо от системы и типа хлораторы имеют общие детали: редукционный клапан, фильтр, регулирующий вентиль, измеритель расхода газа, смеситель газа с водой.

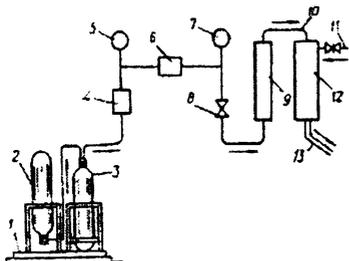


Рис. 11.3. Схема установки для хлорирования воды:

1 - весы; 2 - баллон с хлором; 3 - промежуточный баллон; 4 - фильтр; 5 - манометр высокого давления; 6 - редукционный клапан; 7 - манометр низкого давления; 8 - регулирующий вентиль; 9 - измеритель расхода газа; 10 - газопровод; 11 - водопровод; 12 - смеситель хлора с водой; 13 - трубопровод в резервуар.

(0,01-0,02 МПа). Из редукционного клапана хлор через регулирующий вентиль поступает в измеритель расхода газа, а оттуда по хлоропроводу в смеситель, где смешивается с водой.

Хлор в баллонах и бочках находится в жидком и газообразном состоянии, причем газообразный хлор занимает пространство над жидким.

Из одного баллона при температуре 18°C можно получить не более 0,5-0,7 кг/ч хлор-газа. Поэтому на станциях водоподготовки прибегают к обогреву баллонов теплой водой или воздухом с температурой до 30°C.

В приведенной на рис. 11.3 схеме газообразный хлор по хлоропроводу поступает через промежуточный баллон и фильтр в редукционный клапан, представляющий собой устройство для поддержания в хлораторе постоянного давления

Промежуточный баллон - это обычный стандартный баллон, оборудованный двухпроходным (впускным и выпускным) вентилем. Предназначен для предохранения хлоратора от попадания жидкого хлора или каких-либо загрязнений, поступающих с хлором.

Фильтр представляет собой коробку, заполненную внутри стекловатой, смоченной серной кислотой. Газ, проходя через стекловату, очищается от загрязнений и влаги, после чего поступает в редукционный клапан.

Корпус редукционного клапана - камера, состоящая из двух частей, стягиваемых болтами. Внутри

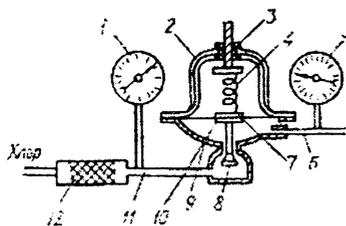


Рис. 11.4. Схема устройства фильтра и редукционного клапана:

1, 5 - манометры соответственно высокого и низкого давлений; 2, 9 - соответственно верхняя и нижняя части корпуса; 3 - зажимной болт; 4 - пружина; 6 - хлоропровод к измерителю газа; 7, 10 - соответственно бронзовая и серебряная пластины мембраны; 8 - конусообразный серебряный клапан; 11 - хлоропровод от баллона; 12 - коробка фильтра.

камеры зажата мембрана из двух пластин – серебряной и бронзовой. Мембрана своей нижней частью (серебряной пластиной) обращена к месту ввода хлора (рис. 11.4). В центре серебряной пластины снизу прикреплен конусообразный серебряный клапан, а со стороны бронзовой пластины – пружина, отжимающая мембрану в горизонтальное положение. Хлор попадает в нижнюю часть клапана, проходит через кольцевое отверстие вокруг конусообразного клапана под мембрану и начинает ее выдавливать вверх, сжимая пружину. Когда клапан, увлекаемый мембраной вверх, закроет отверстие, хлор-газ отводится трубкой, давление в редукторе снижается и пружина оттягивает мембрану в первоначальное положение; кольцевое отверстие вокруг клапана вновь открывается, и процесс повторяется. Таким образом, независимо от давления, создаваемого хлором в баллоне, редукционный клапан понижает и автоматически поддерживает давление газа, поступающего в хлоратор.

Манометры, устанавливаемые перед и за редукционным клапаном, – это обычные стандартные манометры на 1,2 и 0,2 МПа, снабженные серебряной мембраной, предохраняющей их механизмы от вредного воздействия хлора.

Регулировочный вентиль, смонтированный за редукционным клапаном, позволяет регулировкой от руки обеспечить постоянство течения через него газа.

В водоподготовке чаще всего применяют вакуумные хлораторы, в которых хлораторное устройство на большей части пути газа находится под вакуумом, обеспечиваемым эжектором, расположенным на водопроводном вводе. Отсасываемый хлор-газ, последний одновременно выполняет роль смесителя.

Подачу хлора в вакуумных хлораторах контролируют измерителями с подвижным сопротивлением, изменяющим свое положение в потоке газообразного хлора в зависимости от его мощности (рис. 11.5). Струя хлора, поступая в измеритель с определенной скоростью, подхватывает пустотелый поплавок (рис. 11.5, а) или ударяется о подвижную эбонитовую пластину (рис. 11.5, б), отклоняя ее на некоторый угол. Высота подъема или угол отклонения пластины служат мерилем часовой подачи хлора.

К третьему типу принадлежат установки, приспособленные к

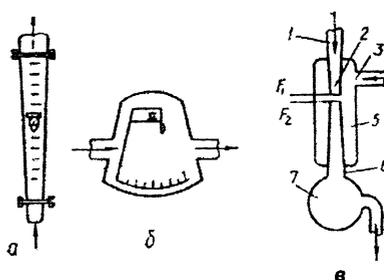


Рис. 11.5. Схемы ротационного (а) и маятникового (б) измерителей с подвижным сопротивлением.

работе на водопроводах и предназначенные не только для приготовления дезинфицирующих растворов, но и для получения их из первичного сырья. К ним относятся *электролитические установки* для приготовления растворов гипохлорита натрия и установки для получения газообразного хлора.

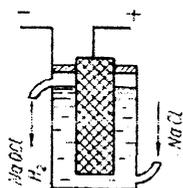


Рис. 11.6. Схема электролизера для получения гипохлорита натрия

Схема электролизера, применяемого для получения гипохлорита натрия электролизом раствора поваренной соли, приведена на рис. 11.6. В электролизере анодное и катодное пространства не отделены друг от друга. В процессе электролиза концентрация NaOH у катода возрастает. Хлор, выделяющийся на аноде, растворяется в электролите. Щелочь, вследствие электролитического переноса, а главным образом в результате тепловой конвекции и перемешивания электролита газом, перемещается в анодное пространство и на некотором расстоянии от анода вступает в реакцию с хлором, образуя гипохлорит натрия:



По мере накопления гипохлорит натрия начинает принимать участие в электролизе.

Разряд гипохлорит-ионов приводит к образованию хлората натрия и кислорода, вследствие чего содержание гипохлорита натрия в электролите ограничивается определенной концентрацией. Поэтому процесс электролиза рационально проводить лишь до достижения равновесной концентрации, которая может изменяться в зависимости от условий электролиза (концентрации поваренной соли, плотности тока, температуры и т. д.). Концентрация гипохлорита натрия в растворе часто снижается в процессе электролиза за счет разложения и «катодного восстановления» гипохлорита натрия, а также в результате образования хлоратов в кислой среде околоанодного пространства.

Большое значение для экономических и технологических показателей процесса электролиза имеет удачный подбор материалов электродов. Аноды обычно изготавливают из электрографита, пропитанного для уменьшения пористости различными веществами, а катоды — из железа, титана или магнетита.

Применяются также электролизеры с засыпными электродами из дробленого природного магнетита, с анодом из платинированного титана, пластинчатыми графитовыми электродами и др.

11.7. КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ХЛОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

Хлорирование воды с аммонизацией

На обеззараживание воды расходуется лишь незначительное количество вводимого в нее хлора; основная масса этого реагента идет на окисление различных органических и неорганических примесей. Для фиксации хлора в воде на более продолжительное время и одновременного снижения его расхода применяют хлорирование с аммонизацией. При наличии в воде аммиака или солей аммония вводимый в нее хлор образует хлорамины, окислительный потенциал которых значительно ниже, чем свободного хлора. В результате этого резко снижается хлоропоглощаемость воды. Установлено, что в случае хлорирования с аммонизацией московской воды даже через 6 ч содержится остаточного хлора примерно 50% введенной дозы, в то время как при хлорировании без аммонизации – всего 6-7%. Хлораминный хлор органолептически менее ощутим.

Метод обеззараживания воды хлорированием с аммонизацией был применен на Винницком водопроводе еще в 1954 г. Об экономичности этого метода в результате снижения расхода хлора на обработку воды можно судить на основании данных о средней дозе этого реагента; при хлорировании с аммонизацией она составляла в среднем 2,75, а без аммонизации – 6,85 мг/дм³. Таким образом, уменьшение дозы хлора вследствие применения хлорирования с аммонизацией составляет 60% его расхода на обеззараживание воды. Техничко-экономические показатели не учитывают уменьшения денатурации воды излишними дозами реагента и улучшения ее органолептических показателей.

Результаты исследования бактерицидного эффекта хлорирования с аммонизацией показывают, что, хотя вначале хлораминный хлор несколько уступает по бактерицидному действию свободному хлору, но уже через 1-2 ч воздействие его на бактерии коли усиливается и в дальнейшем аммиак фиксирует бактерицидное действие хлора.

При молекулярном соотношении хлора и аммиака 1:1, соответствующем монохлорамину, бактерицидный эффект является максимально стабильным. Десятикратный и более избыток аммиака (в молекулярном соотношении) значительно замедляет бактерицидное действие хлора. Менее чем пятикратные избытки аммиака на бактерицидный эффект влияют незначительно. Исследованиями установлено, что при повышении температуры, особенно в интервале 5-20 °С, заметно усиливается бактерицидность вводимых доз хлора при хлорировании с аммонизацией.

В зависимости от целевого назначения аммонизацию произво-

дят перед хлорированием воды (*преаммонизация*) или после него (*постаммонизация*). В случае преаммонизации аммиак подается в водоводы первого продъема или в другое место технологической схемы за 1-2 мин до первого ввода хлора. Этим предупреждается возникновение хлорфенольных запахов и привкусов в обрабатываемой воде. При постаммонизации аммиак подается в резервуары чистой воды, чем обуславливается фиксация хлора на более длительное время. Наиболее эффективной является смесь, содержащая аммиак и хлор в молекулярных соотношениях 1:1 и 1:2, что примерно соответствует массовым соотношениям 1:4 и 1:10. Оптимальное соотношение этих реагентов для каждого конкретного образца воды следует устанавливать на основании пробных хлорирований, проводимых по сезонам года.

Исследованиями Л.И. Гюнтер, Я.Л. Хромченко, Л.П. Алексеевой и др. установлено, что при хлорировании с аммонизацией связанным хлором не только обеспечивается бактерицидная безопасность, но и достигается снижение содержания галогеноорганических соединений и улучшение органолептических показателей питьевой воды.

Хлорирование с мanganированием

Бактерицидный эффект хлора несколько усиливается при добавлении в обрабатываемую воду перманганата калия. Этот реагент целесообразно применять при наличии в воде неприятных запахов и привкусов, обусловленных наличием органических веществ, водорослей, актиномицетов и др. При этом перманганат калия добавляется в воду до ввода хлора или после него; доза перманганата калия зависит от места его подачи в воду. В тех случаях, когда перманганат калия добавляется до поступления воды в отстойники, доза его может достигать 1 мг/дм^3 , поскольку избыточное, неизрасходованное на окисление примесей количество реагента восстанавливается в природной воде до MnO_2 , который задерживается в технологических сооружениях станции. При добавлении перманганата калия в очищенную воду, т. е. после фильтров, доза его, во избежание выпадения осадка MnO_2 , не должна превышать $0,08 \text{ мг/дм}^3$.

Комбинированные хлор-серебряный и хлор-медный методы обеззараживания воды заключаются в одновременном добавлении в нее активного хлора и ионов серебра или меди. Бактерицидное действие хлора и серебра в холодной воде находится в пределах суммарного эффекта доз хлора и серебра. Поскольку бактерицидность ионов серебра заметно возрастает с температурой, обеззараживающий эффект хлор-серебряного метода увеличивается в теплой воде. Это способствует успешному применению данного

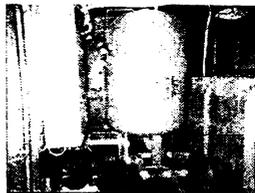
метода для дезинфекции воды в плавательных бассейнах, где очень важно уменьшить дозу вводимого в воду хлора. Необходимые дозы серебра обычно подают в виде «серебряной воды». Ее готовят электролитически в ионаторах типа ЛК.

11.8. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ЙОДОМ

Данный метод применяют для обеззараживания воды в плавательных бассейнах. Для этой цели используют насыщенный раствор йода в воде, концентрация которого возрастает с повышением температуры. Так, при 1 °С растворяется 100, при 20 °С – 300, при 50 °С – 750 мг/дм³. При значениях рН<7 доза йода для обеззараживания воды природных источников колеблется в пределах 0,3-1,0 мг/дм³. При этом запах йода не обнаруживается, поскольку его можно ощутить при концентрациях 1,5 мг/дм³. Если в воде содержатся хлораминны, то йодноватая кислота в силу меньшей окислительной способности консервируется до момента исчезновения более сильного окислителя. Это обстоятельство продлевает срок бактерицидного действия йодноватой кислоты.

Для дезинфекции воды йод применяют также в виде органических соединений – йодофоров.

Глава 12. ОЗОНИРОВАНИЕ ВОДЫ



12.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОЗОНЕ

Озонирование – один из перспективных методов обработки воды с целью ее обеззараживания и улучшения органолептических показателей. Первые опыты по обеззараживанию воды озоном были выполнены в 1886 г. во Франции де Меритенсом. С тех пор не прекращались исследования ученых, направленные на изучение физико-химических, технологических и гигиенических вопросов, связанных с применением озона.

Первая опытная установка для озонирования воды была построена в конце XIX века в Париже, а самая крупная в мире фильтро-озонная станция была введена в эксплуатацию в 1911 г. в Петербурге. Озонаторами трубчатой конструкции на ней обрабатывалось 44 500 м³ воды в сутки. В 1913 г. ее производительность была доведена до 56 000 м³/сут. Однако первая мировая война, а затем военные действия в России помешали поддержанию станции на необходимом техническом уровне, оборудование морально устарело и обеззараживание воды начали производить хлором.

В последние десятилетия интерес к применению озона усилился. В настоящее время крупные озонаторные станции функционируют во Франции, США, Германии, Канаде, Швейцарии, Польше и других странах.

Озон применяется в технологии очистки природных вод на станциях водоподготовки Минска, Москвы, Киева, Нижнего Новгорода с использованием оборудования французской фирмы «Трейлигаз», а в ряде других городов с использованием оборудования стран СНГ.

На Восточной станции водоподготовки Москвы принята двухступенчатая схема обработки воды озоном. Первичное озонирование, осуществляемое после первичного хлорирования, предназначено для снижения цветности воды и улучшения ее органолептических свойств. Применение озона позволило снизить дозу коагулянта, а в отдельные периоды года полностью исключить процесс коагулирования. Как показал опыт работы станции, вторичное озониро-

вание не может рассматриваться в качестве надежного метода обеззараживания воды, и требуется вторичное хлорирование воды на заключительном этапе ее обработки. Предусмотренный метод рекуперации остаточного озона оказался технологически и экономически нецелесообразным, в связи с чем он подавался на установку для каталитического разложения.

На Днепровской станции водоподготовки Киева озонирование воды предназначено для ее кондиционирования и позволяет улучшить физико-химические и бактериологические показатели качества воды. Во избежание бактериального роста в водопроводной сети в летний период очищенная вода после озонирования дополнительно хлорируется в резервуаре чистой воды минимальными дозами хлора. На основании исследований, проведенных по предварительному озонированию воды, на станции ведутся работы, предусматривающие введение озона в речную воду и после ее отстаивания.

На станции водоподготовки Минска предусмотрено первичное (перед смесителем) и вторичное (перед резервуаром чистой воды) озонирование воды. Применение озона повысило качество питьевой воды и устранило привкусы и запахи. Озонирование воды позволяет сократить расход коагулянта и хлора и отказаться от введения реагентов в зимнее время. На станции предусмотрено повторное использование непрореагировавшей части озono-воздушной смеси, что повышает эффективность озонаторной установки.

На Автозаводской станции водоподготовки Нижнего Новгорода отмечается, что озонирование воды позволяет снизить цветность питьевой воды и устранить привкусы и запахи.

Анализ имеющихся материалов показывает, что в настоящее время еще нет четко выработанных рекомендаций по использованию озона в процессах водоочистки. Однако огромные возможности озона и широта его воздействия на гидросферу все больше привлекает специалистов к проведению новых исследований и поисков надежных способов обработки природных вод с его использованием.

Значительные исследования по озонированию воды выполнены в НИИ КВОВ АКХ, НИИ ВОДГЕО, Мосводопроводе, Мосводоканал НИИ проекте, МГУ (Москва), НИИЭФА (Санкт-Петербург), ИКХХВ НАНУ (Киев), ГАСИ (Нижний Новгород) и в др. организациях.

Озонирование имеет существенные преимущества перед другими методами обеззараживания воды, которые обеспечивают высокие эффект обработки воды и технико-экономические показатели: компактность установок, удобство их эксплуатации, отсутствие громоздкого реагентного хозяйства, возможность полной автоматизации процесса.

12.2. СВОЙСТВА, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОЗОНА

Озон является аллотропической модификацией кислорода и при нормальных температуре и давлении представляет собой газ светло-голубого цвета. При температуре $-111,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ озон переходит в нестойкую жидкость темно-синего цвета. Температура плавления озона $-192,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В водоподготовке применяется газообразный озон. При $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении $0,1\text{ МПа}$ растворимость чистого озона в воде составляет $0,68\text{ г/дм}^3$, масса $1\text{ л (дм}^3\text{)}$ газа – $2,144\text{ г}$.

Растворимость озона в воде, как и всех малорастворимых газов, согласно закону Генри, пропорциональна его парциальному давлению или концентрации в газовой фазе. Она падает при повышении температуры и возрастает при повышении давления (рис. 12.1)

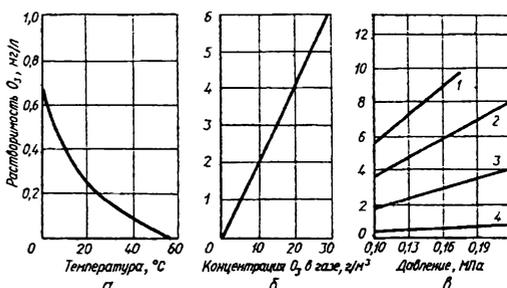
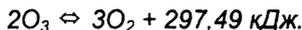
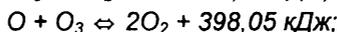
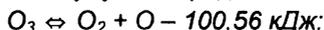


Рис. 12.1. Растворимость озона в воде в зависимости от температуры (а), концентрации его в газе (б) и давления (в) при концентрации озона в воздухе: 1 – 15; 2 – 10; 3 – 5; 4 – 1 г/м³.

Молекула озона весьма неустойчива и легко разлагается (диссоциирует) на атом и молекулу кислорода:



Скорость разложения озона возрастает при повышении значения pH, температуры и степени минерализации воды (рис. 12.2.).

Озон – сильный окислитель. Из всех дезинфицирующих реагентов имеет наиболее высокий окислительный потенциал (2,07 В). Согласно современным представлениям, механизм обеззараживания воды озонотом основан на его способности инактивировать энзимы (сложные органические вещества белковой природы), содержащиеся в животных и растительных организмах. Патогенные микроорганизмы уничтожаются озонотом в 15-20 раз, а споровые формы бактерий – в 300-600 раз быстрее, чем хлором.

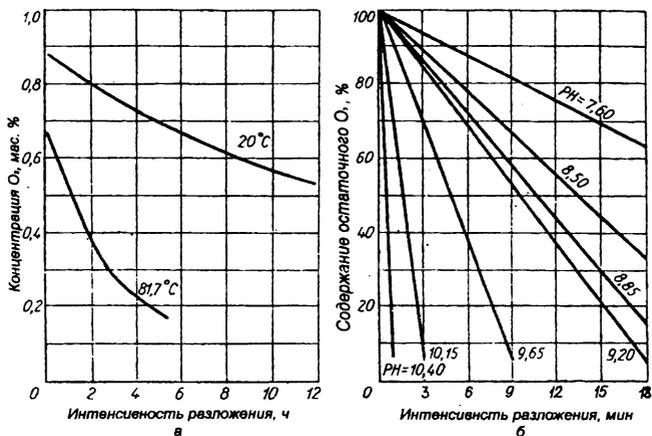


Рис. 12.2. Влияние температуры (а) и величины рН (б) на интенсивность разложения озono-воздушной смеси.

Чистый озон взрывоопасен, поскольку при его разложении высвобождается значительное количество энергии. Озон не взрывается, если его концентрация в озono-воздушной смеси не превышает 10% (140 г/м^3).

Озон токсичен и может поражать органы дыхания. Предельно допустимое содержание озона в воздухе помещений, где работают люди, не более $0,0001 \text{ мг/дм}^3$.

Доза озона, необходимая для обеззараживания воды, варьирует в зависимости от содержания в ней органических веществ, температуры и рН воды.

Согласно СНиП 2.04.02.-84, для обеззараживания воды подземных источников рекомендуется доза озона 0,75-1, для отфильтрованной воды – $1-3 \text{ мг/дм}^3$.

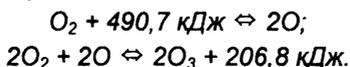
Озонирование в ряде случаев является универсальным методом обработки воды, поскольку, кроме обеззараживания, вода дезодорируется, в ней уничтожаются водоросли, более глубоко окисляются фосфорорганические пестициды, железо, марганец, моющие средства, фенолы, тяжелые металлы, цианиды, сульфиды и разлагаются органические вещества, вызывающие цветность воды. Для удаления этих загрязнений без применения озона потребовались бы хлорирование, коагулирование и углевание воды.

При озонировании в обрабатываемую воду не вводятся посторонние примеси, а непрореагировавший озон через короткий интервал времени превращается в кислород, поэтому дозирование озона

не требует особой точности. Обработка воды избыточным количеством озона не влечет за собой специфического запаха. Согласно СанПин 10-124 РБ 99, содержание остаточного озона после выхода ее из камеры смешения и 12-минусного контакта должно быть $0,3 \text{ мг/дм}^3$.

12.3. УСЛОВИЯ ЭЛЕКТРОСИНТЕЗА ОЗОНА

В основе промышленного получения озона лежит реакция расщепления молекулы кислорода на атомы под действием тихого электрического разряда с последующим присоединением к молекуле одного атома кислорода:



На практике озон получают в специальных аппаратах – озонаторах, в которых воздух с определенной скоростью пропускается между двумя электродами, соединенными с источником переменного тока высокого напряжения (5-20 кВ). Конструктивно электроды выполняются в виде двух концентрично расположенных цилиндров разного диаметра (рис. 12.3) или в виде двух параллельных пластин (рис. 12.4).

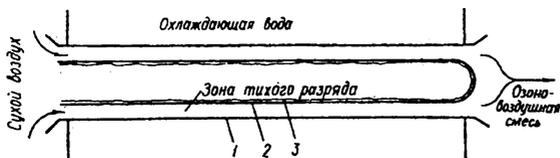


Рис. 12.3. Размещение электродов и диэлектрика в трубчатом озонаторе:

- 1 – трубка из нержавеющей стали (электрод низкого напряжения);
- 2 – стеклянная трубка; 3 – фольга (электрод высокого напряжения).

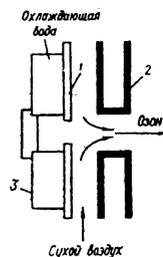


Рис. 12.4. Размещение электродов и диэлектрика в пластинчатом озонаторе:

- 1 – пластинка из обычного стекла (диэлектрик); 2 – профилированные пластинки; 3 – полая пластинка из листового алюминия.

Для получения тихого разряда электроды озонаторов разделяются диэлектриком с возможно большими удельным поверхностным сопротивлением и диэлектрической постоянной. Слой такого материала служит диэлектрическим барьером, исключающим образование искрового или дугового разряда и обуславливающим равномерную структуру тихого разряда. Одновременно он служит реактивным буферным сопротивлением, ограничивающим ток в цепи разряда. В качестве диэлектриков ис-

пользуют обычное или боросиликатное стекло, эмаль, пластмассы.

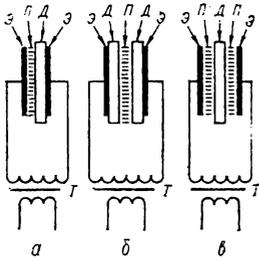


Рис. 12.5. Различные способы расположения электродов и диэлектрика в озонаторах

Между противоположным электродом Э и диэлектриком Д (рис. 12.5, а), между обоими диэлектриками (рис. 12.5, б) либо диэлектриком посредине и электродами по бокам (рис. 12.5, в) оставляется воздушная прослойка П.

При подключении электродов к источнику тока Т в воздушной прослойке П возникает тихий электрический разряд, под воздействием которого кислород или воздух превращаются в озон.

В связи с тем, что 85-95% потребляемой озонатором электроэнергии затрачивается на тепловыделение, электродную систему необходимо охлаждать, поскольку озон при повышенной температуре быстро разлагается. Основной величиной, определяющей производительность синтеза озона, служит мощность разряда, отнесенная к расходу газа, т. е. количество энергии, приходящейся на объем пропущенного через озонатор газа.

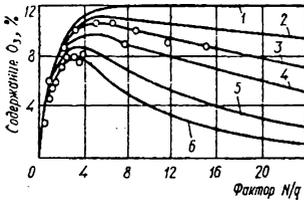


Рис. 12.6. Зависимость концентрации озона С от величины фактора N/q :

1 – теоретическая зависимость содержания O_3 от фактора N/q при температуре газа в разрядном пространстве $20^\circ C$; 2 – расход кислорода 3,0; 3 – 6,0; 4 – 10,0; 5 – 20,0; 6 – 30,0 л/ч.

Как видно из кинетических кривых синтеза озона (рис. 12.6), полученных при различных расходах (скоростях потока) газа q и изменяющейся мощности разряда N , концентрация озона с ростом мощности озонатора увеличивается, проходит через максимум, а затем снижается. Это связано с тем, что при постоянной температуре воды, охлаждающей электроды, повышение мощности озонатора приводит к росту температуры газа в разрядном пространстве, а, следовательно, ускоряет разложение озона.

Аналогичное явление наблюдается и при повышении частоты тока. Так, при повышении частоты тока от 50 до 200 Гц производительность озонатора удваивается. Дальнейшее ее повышение приводит к увеличению мощности разряда и температуры газа, поэтому озонаторы, работающие на частоте до 500 Гц, необходимо охлаждать водой, а на частоте до 1000 Гц – рассолом. Токи более высокой частоты (1000-10 000 Гц) можно применять в специальных генерато-

рах озона, в которых предусматривается отвод теплоты не только от наружных, но и от внутренних высоковольтных электродов.

Следует отметить наличие температурного перепада не только в стенках охлаждаемых электродов, но и в разрядном пространстве: он тем больше, чем больше это пространство. Поэтому озонаторы с малыми разрядными пространствами более выгодны.

Исследованиями установлено, что оптимальное давление в озонаторах составляет 0,1-0,2 МПа. При повышении давления до 0,4-0,5 МПа структура разряда изменяется, появляются искровые дискретные разряды, снижаются концентрация озона и эффективность электросинтеза.

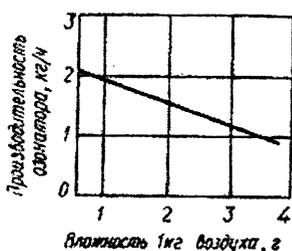


Рис. 12.7. Влияние влажности воздуха на генерирование озона.

Наиболее сильно на синтез озона влияет наличие в исходном газе водяного пара (рис. 12.7). Даже небольшая влажность заметно понижает концентрацию озона. Особенно резкий спад наблюдается при большой влажности, когда изменяется структура разряда. В этих условиях в разрядном пространстве наряду с озоном из азота воздуха синтезируются оксиды азота, главным образом N_2O_5 и N_2O (до 1%).

Последние, взаимодействуя с содержащейся в воздухе водой, образуют азотную кислоту, которая вызывает коррозию оборудования, арматуры и трубопроводов. NO_2 , отлагаясь на стенках озонаторного котла, увеличивает электросопротивление разрядного пространства и снижает эффективность синтеза озона.

Производительность озонатора значительно возрастает при обогащении воздуха кислородом. Например, добавление 10% кислорода позволяет увеличить производительность озонатора на 30%. Для обогащения воздуха кислородом применяют цеолиты*, селективно сорбирующие из него азот. При этом одновременно с обогащением O_2 происходит и глубокая осушка воздуха.

Показателем эффективности работы озонатора является выход озона на 1 кВт·ч электроэнергии. В современных установках промышленного типа этот показатель достигает 68 г/(кВт·ч) при использовании воздуха и 136 г/(кВт·ч) в случае применения кислорода; расход электроэнергии на синтез 1 кг озона при этом равен соответственно 14,7 и 7,35 кВт·ч. Количество образующегося O_3 составляет

* Цеолиты – породообразующие минералы, главным образом алюмосиликаты кальция и натрия, эффективные сорбенты.

0,5-2,0 мас.% пропускаемого воздуха, что соответствует содержанию 5-20 г озона в 1 м³ озонированного воздуха. При нормальном атмосферном давлении и температуре 20 °С в среднем расход воздуха на получение 1 кг озона составляет 70-80 м³.

12.4. КОНСТРУКЦИИ ОЗОНАТОРОВ

Озонаторы промышленного типа отличаются друг от друга конструктивным оформлением, средствами охлаждения электродов и диэлектрика, а также используемыми напряжением и частотой тока.

Озонаторы небольшой производительности обычно выполняются с парой электродов и имеют трубчатую форму. Охлаждение их упрощено, поскольку теплота электрического разряда рассеивается от электродов в окружающую среду.

Относительно большое количество воздуха, проходящее через озонатор, также способствует отведению теплоты, но при этом концентрация озона в озono-воздушной смеси понижается. Для получения значительных количеств озонированного воздуха с повышенной концентрацией озона необходимы более совершенные охлаждающие устройства. Вместе с тем, увеличивая производительность озонаторов, не следует забывать о компактности охлаждающих устройств.

В технологии обработки воды применяются два основных типа озонаторов: трубчатые (горизонтальные и вертикальные) и плоские пластинчатые (с центральным коллектором и с продольной циркуляцией).

До пятидесятых годов XX в. озон получали в основном в плоских пластинчатых озонаторах, которыми было оборудовано большинство установок, построенных за рубежом.

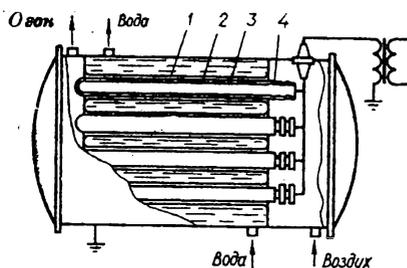


Рис. 12.8. Схема трубчатого озонатора конструкции Велсбах:

1 — электрод низкого напряжения; 2 — диэлектрик; 3 — электрод высокого напряжения; 4 — стеклянная трубка.

Аппараты трубчатого типа, созданные в конце сороковых годов, оказались более прогрессивными. Эти аппараты в настоящее время производят основное количество озона. Производительность наиболее совершенных трубчатых озонаторов составляет 10-12 кг озона в час.

Трубчатый озонатор с горизонтально расположенными электродами (рис. 12.8)

представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрического корпуса и съемных сферических днищ. Для закрепления размещаемого в корпусе озонатора пакета электродов и разделения его на три секции в нем установлены вертикальные опорные решетки.

В наиболее длинной средней секции расположены трубчатые электроды, между которыми циркулирует охлаждающая вода. Через одну из двух крайних секций поступает сухой воздух, а через другую выходит озонированный газ.

Каждая разрядная трубка представляет собой два коаксиально (соосно) расположенных электрода. Один из них – трубка из нержавеющей стали (заземленный электрод) – является электродом низкого напряжения, другой – стеклянная трубка с нанесенным на ее внутреннюю поверхность слоем токопроводящего покрытия из графита или алюминия – электродом высокого напряжения. С помощью центрирующих колец каждая стеклянная трубка устанавливается точно по оси стальной. В озонаторе размещены 204 разрядные трубки.

В кольцевом зазоре между электродами, разделенном диэлектрическим барьером и воздушной прослойкой в 2,5 мм, при напряжении 15 кВ возникает тихий разряд, под воздействием которого синтезируется озон.

Для отвода теплоты из зоны разряда внешние электроды охлаждаются водой с температурой 20 °С. Температура воды в озонаторах, как правило, повышается не более чем на 6-8 °С. Расход воды составляет 3-5 м³ на 1 кг озона. Поскольку качество охлаждающей воды не изменяется, ее можно многократно использовать для охлаждения озонаторов, а также применять для технологических целей и хозяйственно-питьевого водоснабжения.

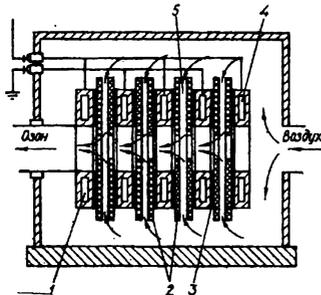


Рис. 12.9. Схема пластинчатого озонатора конструкции Отто.

Озонаторы с вертикально расположенными трубчатыми электродами аналогичны озонаторам с горизонтально расположенными электродами, однако они громоздки и из-за конструктивного несовершенства на крупных установках не применяются.

На рис. 12.9 приведена принципиальная схема пластинчатого озонатора. Он выполнен из

прямоугольных параллельно размещенных пустотелых алюминиевых или чугунных элементов, между которыми попарно установлены стеклянные пластины 2 на расстоянии 3 мм друг от друга. К внешней поверхности элементов плотно прилегает слой фольги или ме-

таллической краски 3, выполняющий роль электрода. Элементы заземлены и охлаждаются циркулирующей в них водой. Элементы 1 и 4 являются высоковольтными электродами (20 000 В, 500 Гц). Воздух поступает в кожух озонатора, проходит через разрядные пространства 5 и отводится выпускной трубой. Расход электроэнергии на образование 1 кг озона составляет 18,1 кВт·ч.

Французской фирмой «Трейлигаз» освоен выпуск озонаторов пластинчатого типа с продольной циркуляцией. Удлиненная прямоугольная форма электродов и расположение каждого разрядного элемента в собственном коробчатом кожухе позволяют повысить производительность озонатора по сравнению с озонаторами трубчатого типа на 50%.

Проблема повышения эффективности озонатора может быть решена применением вместо стекла стекломалей в качестве диэлектрического барьера, а также повышением частоты питающего озонатор тока.

На химическом факультете МГУ (Москва) В.А. Вобликовой и Ю.В. Филлиповым разработаны высокочастотные озонаторы с металлическими эмалированными электродами. Озонаторы отличаются простотой конструкции, высокой производительностью, экономичностью, малыми габаритами (их габариты почти в 100 раз меньше габаритов низкочастотных озонаторов).

Использование металлических электродов с эмалевым покрытием позволяет упростить конструкцию озонаторов, увеличить их мощность и производительность. Применение высокочастотных озонаторов позволяет снизить расход металла и необходимые производственные площади в 20-50 раз, заменить одним высокочастотным озонатором десятки аналогичных низкочастотных. Высокочастотный озонатор с эмалированными электродами содержит один или несколько озонирующих элементов.

Сравнительный анализ характеристик озонаторов, работающих на низких и повышенных частотах, показал, что озонаторы с

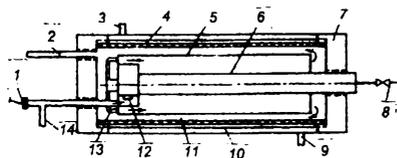


Рис. 12.10. Высокочастотный генератор озона с внутренним охлаждающим электродом

эмалированными электродами имеют существенные преимущества по сравнению с современными промышленными озонаторами. Их энергозатраты 4-10 кВт·ч/кг, удельная производительность 50-60 г/ч на 1 дм² поверхности электродов, что в 8-10 раз выше производительности

лучших высокочастотных озонаторов и в 50-100 раз выше производительности промышленных озонаторов, работающих на

низких частотах.

В.В. Найденко, Л.А. Васильевым и А.Л. Васильевым разработан высокочастотный генератор озона с внутренним охлаждающим электродом (рис. 12.10).

Сжатый газ через патрубок 14 и сопловой ввод 12 попадает в вихревую трубу 6 корпуса 1, где за счет интенсивности закрутки происходит охлаждение газовой смеси. Далее холодный газовый поток через патрубки поступает в газонаправляющий кожух 5, находящийся под высоким напряжением, идущим от трансформатора, и, охлаждая как вихревую трубу 6, так и сам газонаправляющий кожух 5, попадает в разрядную камеру 11, где под действием электрического коронного разряда, возникающего между высоковольтным внутренним электродом 2 и низковольтным наружным электродом 4, происходит синтез озона. Теплоту, выделяемую в результате синтеза озона, отводят с охлаждающей жидкостью, подаваемой в камеру охлаждения 10 через патрубок 9 и отводимой через патрубок 3. Горячий газо-воздушный поток отводится от генератора озона через трубопровод 8 и используется для регенерации адсорбентов, которые применяются в системе воздухоподготовки. Озоново-воздушная смесь отводится через патрубок 2. Применение повышенных частот в озонаторе (до 500 Гц) позволяет увеличить его производительность по сравнению с промышленной частотой в 2,2-2,5 раза, а применение вихревого эффекта увеличивает производительность на 10-15% по сравнению с серийно выпускаемыми генераторами.

Таким образом, в настоящее время имеются все необходимые предпосылки для широкого применения мощных высокопроизводительных озонаторов, которые позволяют обеспечить внедрение многих перспективных технологических процессов.

12.5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЗОНИРОВАНИЯ ВОДЫ

Озонирование воды – сложный химико-технологический процесс, требующий объединения в одной установке устройств для: компрессирования и кондиционирования воздуха, получения озона, смешения его с водой, рекуперации или разложения непрореагировавшего озона.

Принципиальная технологическая схема современной озонирующей установки с глубоким осушением воздуха охлаждением, вымораживанием и поглощением оставшейся влаги адсорбентами приведена на рис. 12.10. Забираемый из незагрязненной зоны воздух (воздухозабор располагают на 4 м выше конька крыши) проходит через кассетный воздушный фильтр 1, где очищается от пыли,

затем он сжимается поршневым или ротационным компрессором 2 и направляется во второй кассетный фильтр 3 (загруженный активированным углем или коксовым орешком), в котором очищается от капель масла, попавших в воздух в компрессоре. Часть воздуха при выходе из фильтра направляется в смеситель 7 фильтровальной станции для интенсификации смешения озона с водой, остальной воздух поступает на осушку в оросительный холодильник 4. Здесь происходит охлаждение воздуха, температура которого после компрессирования повышается до 40-50 °С, и выделение из него влаги. Охлаждается воздух, движущийся по трубам холодильника, водой, орошающей их поверхность.

Для озонаторных установок производительностью более 6 кг/ч озона принимают двухступенчатую осушку воздуха.

На первой ступени воздух охлаждают до температуры 7 °С в холодильной установке, на второй – осушивают в адсорберах.

Охлажденный воздух поступает в кожухотрубный теплообменник 11, где идет по трубам, охлаждаемым кипящим фреоном или аммиаком. Фреон подают из специальной установки 12. Влага из воздуха осаждается в виде инея на поверхности труб и удаляется при остановке и отогревании теплообменников. В качестве хладагента может использоваться артезианская или водопроводная вода. Применение артезианской воды предпочтительнее, так как она имеет в течение года постоянную температуру (10-12 °С).

Глубокая осушка воздуха до влагосодержания 0,1 г/м³ производится в адсорбере 10, заполненном силикагелем или активным оксидом алюминия, если требуется осушка до влагосодержания 0,001 г/м³. Для особо глубокой осушки применяют молекулярные сита.

Адсорберов устанавливают не менее двух: в одном аппарате происходит адсорбция, в другом – регенерация адсорбента. Регенерируют адсорбенты воздухом, нагретым до температуры 150-280 °С в электрокалорифере 8 (рис. 12.10), или продувкой через слой увлажненного адсорбента чистого осушенного воздуха. Продолжительность защитного действия адсорбента принимают равной не более 8 ч. Остаточное содержание влаги в воздухе после адсорберов не должно превышать 0,05 г/м³. В процессе эксплуатации адсорбенты под воздействием капельной влаги и нагревания при регенерации измельчаются. Для защиты коммуникаций и озонаторов от пыли осушенный воздух обеспыливается тканевыми фильтрами 9 и окончательно охлаждается в оросительных холодильниках 5.

Осушенный и охлажденный воздух поступает в озонаторы 6, где превращается в озон. Смесь воздуха и озона из озонаторов поступает в смеситель 7 для смешения с обрабатываемой водой. Рас-

ход электроэнергии на синтез 1 кг озона, включая подсобное оборудование озонаторной, составляет 30-40 кВт·ч.

12.6. СМЕШЕНИЕ ОЗОНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ВОДОЙ

Важным этапом в работе озонаторной установки является смешение озono-воздушной смеси с обрабатываемой водой, которое должно обеспечить быстрое и эффективное использование озона. Недостаточное смешение озона с водой понижает эффективность озонаторной установки и создает неблагоприятную экологическую среду. Концентрация остаточного озона в отходящих газах может колебаться от 0,5 до 4 г/м³. Для этого в современных установках применяют барботаж пористыми или перфорированными диффузорами, гидравлическое эмульсирование, механическую ин-жекцию и смешение в контактных бассейнах.

На рис.12.11 представлена схема барботирования озono-

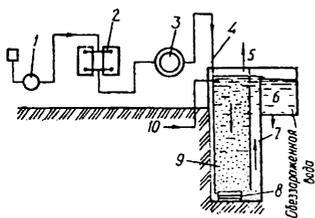


Рис. 12.11. Ввод озона в контакт с водой перфорированными трубками-диффузорами

воздушной смеси перфорированными трубами-диффузорами. Компрессором 1 воздух подается в адсорбер 2, где осушивается, затем в озонатор 3. По трубе 4 озонированный воздух направляется в контактную камеру 9 с размещенными на ее дне диффузорами 8 в виде перфорированных труб или пористых фильтросных пластин. По трубе 10 навстречу потоку рассеиваемых диффузорами мельчайших пузырьков озона поступает вода для обработки.

Обработанная озонном вода по боковому карману 7 поднимается и переливается в сборный канал 6. Непрореагировавшая часть озона отводится через вытяжную трубу 5.

Барботирование озono-воздушной смеси с водой может быть достигнуто использованием системы Торичелли (рис. 12.12). Отфильтрованная вода 1 подается в камеру по вертикальному каналу 3 высотой 9,5 м. В состав камеры входит два смежных отделения 6 и 9, перекрытых на высоте 2-2,3 м от дна общим герметизированным покрытием, необходимым для создания в отделениях постоянного гидравлического напора – 0,07 МПа.

Озонированный воздух подается в трубы-диффузоры 7, расположенные на дне первого отделения контактной камеры 6, где растворяется в противотоке воды, которая переходит во второе отделение контактной камеры 9 под нижней кромкой разделительной перегородки. Поскольку во втором отделении камеры отсутствуют завихрения потока, озон остается в растворенном состоянии, сохраняя высокую окислительную способность.

Непрореагировавший и накапливающийся под верхним перекрытием камеры озон в виде слоя 8 отводится по трубе 5 и инжектором 4 вводится в вертикальный канал 3. Таким образом, вода перед поступлением в контактную камеру 6 предварительно озонируется. Озонированная вода, пройдя второе отделение контактной камеры 9, переливается через верхнюю кромку следующей перегородки, движется снова вниз, входит в вертикальный канал 10, а из него по трубе 11 поступает в резервуары чистой воды. Предусмотрен отвод избыточного воздуха по стояку 2 в атмосферу.

Продолжительность контакта озono-воздушной смеси с водой составляет 5 мин (по 2,5 мин на каждое отделение камеры). Скорость движения воды во входном канале составляет 4, в камере — 0,8 м/мин.

Схема смешения озono-воздушной смеси с водой гидравлическим эмульсированием приведена на рис. 12.13. Воздуходувками 1 атмосферный воздух нагнетается в адсорберы 2, где осушивается, и поступает в озонатор 3. Озонированный воздух по трубе 4 и обрабатываемая вода по трубе 5 одновременно вводятся в эмульсатор 6, смешиваются и отводятся по вертикальной трубе 9 в камеру 10. Затем озонированная вода поднимается в верхнюю часть камеры и переливается через перегородку в боковой сборный канал 8. Непрореагировавшая часть озона отводится через вытяжной стояк 7. Продолжительность контакта озono-воздушной смеси с водой составляет около 5 мин.

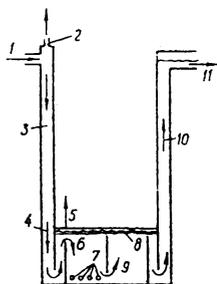


Рис. 12.12. Ввод озона в контакт с водой по системе Торичелли

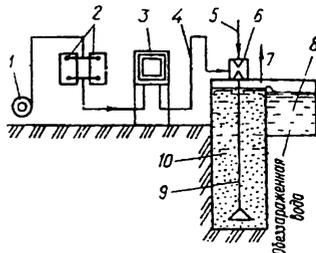


Рис. 12.13. Ввод озона в контакт с водой гидравлическим эмульсатором

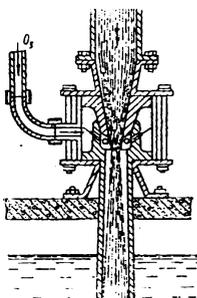


Рис. 12.14. Схема гидравлического эмульсатора

Гидравлический эмульсатор (рис. 12.14) представляет собой водяной насос-инжектор, в котором при прохождении обрабатываемой воды возникает разрежение, вызывающее засасывание озонированного воздуха. Это исключает возможность утечки озона наружу.

Способ механической инъекции (рис. 12.15) требует установки в контактной камере ротационного механического эмульсатора. Он выполняется в виде полого перфорированного цилиндра-ротора 2, вращающегося в воде вокруг оси 4 со скоростью 2900 об/мин.

На верхнем перекрытии контактной камеры располагается электродвигатель 3. За счет вакуума, создаваемого в результате быстрого вращения цилиндра-ротора, озонированный воздух непрерывно всасывается трубой 1, выходит через отверстия цилиндра в радиальных направлениях и смешивается с окружающей ротор водой.

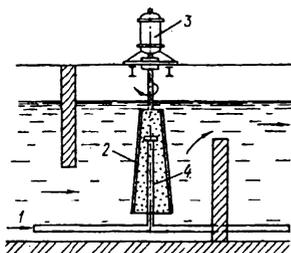


Рис. 12.15. Схема механического ротационного эмульсатора

Растворение в воде до 75-85% озона происходит мгновенно за счет высокой степени дисперсности озон-воздушной смеси.

В.В. Найдено, Л.А. Васильевым, А.Л. Васильевым и др. разработана высокоэффективная технология смешения озона с водой в трубопроводе и получены зависимости для оптимальных режимов работы аппаратов различной производительности.

Принцип действия аппарата (рис. 12.16) основан на создании закрутки жидкого потока в целях смешения водной и газовой сред при обработке природных вод озонном.

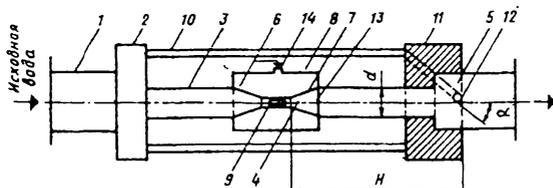


Рис. 12.16. Аппарат для смешения жидкостей и газов в технологическом трубопроводе

Аппарат включает трубопровод 1 подачи жидкости, разделитель жидкости 2, трубопровод 3, установленные последовательно на одной оси камер

смешения 4, 5 первой и второй ступеней соответственно. Камера 4 первой ступени включает в себя конфузор 6 с диффузором 7, соединенные патрубком со щелями 9 и окруженные камерой 8 ввода газа.

Камера смешения 5 второй ступени соединена подающими трубами 10 с распределителем потока 2. В стенках камеры смешения 5 выполнены каналы 11, подключенные к подающим трубам 10 и выполненные по винтовой линии под углом $\alpha = 60-75^\circ$ к оси камеры. При этом выходные отверстия 12 каналов 11 расположены от входного отверстия 13 камеры смешивания первой ступени на расстоянии H , равном 2,5-4 диаметра камеры смешения первой ступени. Камера 8 снабжена патрубком ввода газа 14.

Аппарат работает следующим образом. Жидкость подается по трубопроводу 1 в распределитель потока 2, откуда часть ее через подающие трубы 10 поступает в камеру смешения 5 второй ступени. Основной поток жидкости подается по трубопроводу 3 в камеру 4 первой ступени смешения. Поступая в конфузор 6, жидкость через отверстия 9 захватывает газ, поступающий из патрубка 14. В диффузоре 7 смесь расширяется, после чего она поступает в камеру смешения 5 второй ступени, куда через трубы 10 и каналы 11 подается из распределителя жидкости 2. За счет винтового направления каналов 11, расположенных под углом $60-75^\circ$ к оси камеры, потоки добавляемой жидкости движутся в камеры 5 по винтовой траектории и смешиваются с газо-водяной смесью, поступающей из камеры смешения 4 первой ступени.

Широко распространен метод смешения озono-воздушной смеси с водой в контактных бассейнах, представляющих собой железобетонные резервуары, разделенные железобетонными перегородками на три отдельные последовательно соединенные камеры. Озон вводится во вторую и в третью по ходу движения воды камеры. Вода в камерах движется сверху вниз, пузырьки озono-воздушной смеси – снизу вверх.

Назначение первой камеры – рекуперация озона*. Накапливающийся под перекрытием контактного бассейна непрореагировавший озон отсасывается турбовентилятором и специальной турбиной распределяется в виде мельчайших пузырьков в воде. Такой способ рекуперации позволяет дополнительно использовать еще 7-8% озона.

Равновесие между количеством воздуха, отсасываемого из бассейна, и количеством поступающей в бассейн озono-воздушной

* *Рекуперация озона* – процесс улавливания непрореагировавшего озона, выходящего из верхней части камер контактного бассейна, и возвращение его в основное производство для повторного использования.

смеси поддерживается специальным регулятором, который управляется автоматически в зависимости от понижения давления во всасывающем трубопроводе. Под перекрытием контактного бассейна находится специальный клапан, предназначенный для впуска воздуха при случайном понижении давления. После рекуперации воздух выпускается в атмосферу.

Равномерное распределение озono-воздушной смеси в воде обеспечивается сетью труб из пористой керамики или металлокерамики, проложенных по днищам второй и третьей камер бассейна. Диаметр труб – до 100 мм, размер пор – 40-100 мкм.

Объем контактного бассейна W определяют по формуле

$$W = \frac{Qt}{60},$$

где Q – расход воды, м^3 ; t – продолжительность контакта озono-воздушной смеси с водой (принимают равной 8-12 мин), мин.

Высоту слоя воды над диффузионной системой принимают 4,3-4,6 м, поскольку выпускаемые промышленностью газодувки развивают давление не более 0,06 МПа.

Площадь контактного бассейна F можно рассчитать по формуле

$$F = \frac{W}{4,5},$$

где 4,5 – высота слоя воды, м.

Общую высоту контактного бассейна принимают равной 7 м.

Производительность озонатора Q_0 вычисляют по формуле

$$Q_0 = CQ_B,$$

где C – концентрация озono-воздушной смеси, $\text{г}/\text{м}^3$; Q_B – количество воздуха, прошедшего через озонатор, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Производительность озонаторной установки Q_y определяют по уравнению

$$Q_y = D_o q_o,$$

где D_o – доза озона, $\text{г}/\text{м}^3$; q_o – количество, обработанной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Определив требуемое количество озона и зная его эффективную концентрацию, вычисляют расход воздуха и напряжение.

Непрореагировавший озон рекуперировать в первых барботажных камерах, куда поступает еще не обработанная озонм вода, специальными турбинами-эмульсаторами. Это позволяет практически полностью использовать остаточный озон.

Одной из проблем процесса озонирования воды является очистка отходящих газов от остаточного озона. Его разложение может быть достигнуто реагентным, термическим и каталитическим методами. Последний является наиболее перспективным. Общий вид термокаталитического аппарата с катализатором гопкалитом, разработанного А.Н. Никифоровым и др., представлен на рис. 12.18. Испытания аппарата на Восточной водопроводной станции г.Москвы показали, что по простоте конструктивного исполнения и эксплуатации, надежности и безотказности в работе он существенно отличается от ранее применяемых аппаратов и может быть широко применен в практике проектирования и строительства станции озонирования питьевой воды.

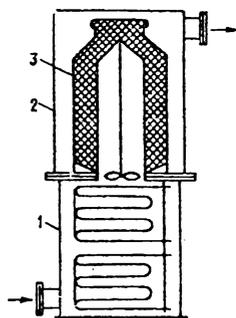
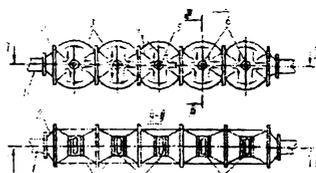


Рис. 12.18. Общий вид термокаталитического аппарата:

1 – подогреватель озон-воздушной смеси; 2 – контактный узел; 3 – катализатор с корзиной

Глава 13.

ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ



13.1. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМИ (УФ) ЛУЧАМИ

13.1.1. Общие сведения

Давно было замечено, что свет отрицательно влияет на развитие большинства бактерий. Это свойство приписывалось всему солнечному спектру, и природа его на протяжении многих лет оставалась невыясненной. В результате тщательного изучения этого явления было установлено, что бактерицидным действием обладает в основном коротковолновый свет.

В конце XIX в. русский ученый А.Н. Маклаков, изучая различные участки спектра, установил бактерицидное действие УФ-лучей с длинами волн 200-295 нм, причем оказалось, что максимально эффективными являются лучи с длиной волны 260 нм. Результаты работы свидетельствовали о том, что все виды бактерий и спор гибли уже через несколько минут после облучения.

Бактерицидные свойства УФ-лучей объяснялись по-разному. Одни исследователи указывали на возможность образования в воде под действием УФ-лучей озона, другие – пероксида водорода. В настоящее время известно, что УФ-лучи, воздействуя на белковые коллоиды цитоплазмы клеток, изменяют их структуру и дисперсность, (разрушается дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) микроорганизмов), что приводит к гибели клетки.

В.Ф. Соколовым установлено, что вода под действием УФ-лучей в течение относительно короткого времени полностью обеззараживается. Быстрое обеззараживание воды достигается при наличии всех видов бактерий, в том числе и споровых.

Количество бактерий n особ./дм³, оставшихся живыми в единице объема воды, после бактерицидного воздействия УФ-лучей, можно определить по уравнению

$$n = n_{нач} e^{\frac{E_t}{k}}$$

где $n_{нач}$ – начальное количество бактерий в единице объема воды, особ.; E – интенсивность потока бактерицидных лучей; t – продолжительность облучения, мин.; k – коэффициент сопротивляемости облучаемых бактерий ($k = 2\ 500$).

Степень сопротивляемости микроорганизмов, находящихся в воде, действию бактерицидных лучей различно, поэтому значение коэффициента сопротивляемости k зависит от вида бактерий.

Так как коэффициент сопротивляемости различных видов вегетативных и патогенных бактерий практически не превышает коэффициента сопротивляемости бактерий *Coli*, равного примерно 2 500, его и применяют при расчетах необходимого количества бактерицидной энергии для обеззараживания воды. Один и тот же эффект обеззараживания может быть получен при малой интенсивности облучения, но большой продолжительности его и, наоборот, при большой интенсивности облучения и малой продолжительности. При определении необходимого количества бактерицидной энергии величина коэффициента поглощения облучаемой воды (α) при прохождении через нее потока лучей определяется: для бесцветных, не требующих обезжелезивания подземных вод из глубоких горизонтов $\alpha = 0,15\ \text{см}^{-1}$; для воды поверхностных водных объектов, прошедшей очистку на станции водоподготовки – $\alpha = 0,2-0,3\ \text{см}^{-1}$. В последнем случае рекомендуемое значение коэффициента поглощения принято с запасом, учитывая возможные случайные отклонения показателей качества воды по мутности и цветности от требований СанПиН 10-124 РБ 99.

Поскольку физические и химические свойства облученной воды не изменяются, последняя совершенно безвредна. Обеззараживать УФ-лучами лучше всего очищенную прозрачную воду, так как взвешенные и коллоидные примеси рассеивают свет и препятствуют проникновению УФ-лучей в толщу воды.

Доза ультрафиолетового излучения, необходимая для уничтожения микроорганизмов в воде, зависит от энергетического выхода ультрафиолетовых ламп; скорости потока воды, и, следовательно, времени облучения; способности жидкости проводить бактерицидные длины волн; геометрии облучательной камеры.

СНиП 2.04.02-84 рекомендует обеззараживать подземные воды бактерицидным излучением при условии постоянного обеспечения нормативных требований на питьевую воду по мутности, цветности и другим показателям. Содержание в воде железа не должно превышать $0,3\ \text{мг/дм}^3$.

13.1.2. Бактерицидные лампы и установки

В качестве источников УФ-лучей применяются специальные ртутные лампы, принцип действия которых основан на том, что пары ртути в разрядных трубках под влиянием электрического тока излучают ослепительный зеленовато-белый свет, богатый УФ-лучами.

Первая лампа была сконструирована в 1895 г., а опыты по обеззараживанию питьевой воды начали проводить в 1909 г. Вначале оболочки ртутных ламп изготавливали из обычного стекла, но поскольку оно обладает способностью задерживать значительную часть УФ-лучей, пришлось заменить его кварцевым и увиолевым*.

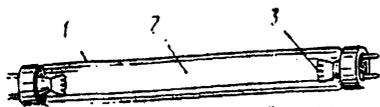


Рис. 13.1. Схема бактерицидной лампы.

Бактерицидная лампа (рис. 13.1), соответствующая по внешнему виду, устройству, мощности, электрическим параметрам, схеме и приборам включения люминесцентной (лампе дневного света), состоит из разрядной цилиндрической трубки 1, изготовленной из увиолевого стекла (люминесцентная лампа изготовлена из обычного стекла, непрозрачного для лучей с длиной волны 253,7 нм). Электрический разряд в бактерицидной лампе возникает в парах ртути 2 при низком давлении. Для ускорения включения лампы вместе с парами ртути вводится небольшое количество благородного газа аргона. В концы трубки впаяны оксидные электроды 3. Катод выполнен из оксидированной вольфрамовой проволоки в виде спирали. Зажигается бактерицидная лампа автоматически от стартера.

В настоящее время применяются лампы двух типов: ртутно-кварцевые высокого давления и аргоно-ртутные низкого давления, используемые в бактерицидных установках.

Существует два основных вида установок для облучения: с погруженными и непогруженными источниками УФ-излучения. Первые имеют высокий коэффициент использования мощности радиации, но конструктивно весьма сложны, особенно при большой производительности.

* Увиолевое стекло обладает повышенной прозрачностью в УФ-области спектра благодаря отсутствию в нем оксидов Fe_2O_3 , Ce_2O_3 , V_2O_5 и сульфидов тяжелых металлов, поглощающих УФ-лучи.

Схема напорной установки с погруженными источниками УФ-излучения приведена на рис. 13.2. Каждая секция установки этого типа при производительности 150 м³/ч состоит из пяти камер, последовательно соединенных между собой. Интенсивное пере-

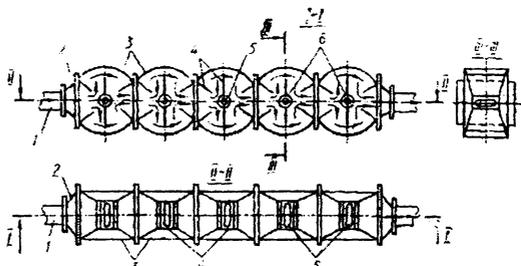


Рис. 13.2. Схема установки типа OB-AKX-1 с погруженными источниками излучения – лампами ПРК-7:

1 – трубопровод; 2 – переходные патрубки; 3 – корпуса камер; 4 – перегородки для смешения воды; 5 – ртутно-кварцевые лампы высокого давления ПРК-7; 6 – кварцевые цилиндрические чехлы

мешивание воды внутри корпуса обеспечивают шесть радиальных перегородок. Для доступа внутрь камер предусмотрены специальные окна. В верхней крышке закреплено стекло для наблюдения за состоянием камеры и работой лампы. Бактерицидная лампа, помещенная в цилиндрический футляр, расположена в центре камеры. Напорные бактерицидные установки укрепляют на напорных или всасывающих трубопроводах.

Аппараты с непогруженными источниками конструктивно сравнительно просты, но при их применении непроизводительно расходуется часть бактерицидной мощности из-за рассеивания лучей, поглощения их отражательными поверхностями и т. д.

Схема установки лоткового типа для обеззараживания воды с непогруженным источником излучения представлена на рис. 13.3. Вода поступает в аппарат через дырчатую перегородку и распределяется по лотку; в конце аппарата находится перелив; бактерицидная лампа в алюминиевом рефлекторе размещается над поверхностью воды.

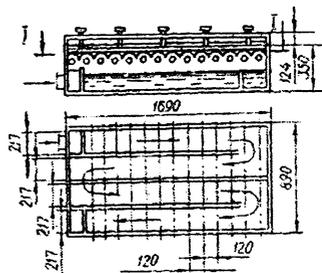


Рис. 13.3. Схема бактерицидной установки лоткового типа.

Безнапорные установки располагают на горизонтальных участках трубопроводов или в специальных каналах.

В процессе эксплуатации сила светового потока бактерицидных ламп снижается, поэтому периодически (через 4-5 мес.) их необходимо заменять.

Коллоидные и взвешенные частички, соединения железа не только препятствуют проникновению лучей в толщу воды, но и являются основным видом отложений на поверхности кварцевых чехлов. При большом интервале времени между чистками на поверхности кварцевых чехлов образуется плотный, трудно удаляемый налет, значительно снижающий эффект обеззараживания воды.

Дальнейшие исследования по созданию более мощных источников бактерицидного излучения и повышению его выхода на единицу потребляемой ими электроэнергии имеют особое значение для расширения области применения метода обеззараживания воды облучением.

Обеззараживание облучением не требует введения в воду химических реагентов, не изменяет физико-химических свойств и не влияет на вкусовые качества воды. Однако применение этого метода не рекомендуется для обеззараживания мутных вод, т.к. сопряжено со значительными материальными затратами и не исключает опасности повторного заражения воды.

В последние годы определился принципиально новый подход к обработке воды УФ-излучением. Он заключается в предварительном введении в обрабатываемую воду в небольших дозах окислителей (H_2O_2 , O_3 , Cl_2) с последующим ее УФ излучением.

Усиление обеззараживающего действия окислителей при сочетании с УФ-лучами объясняется тем, что при обработке воды протекают фотохимические процессы, в результате которых образуются промежуточные активные радикалы, вызывающие распад молекул органических веществ.

По данным Г.Л. Медриш, Д.Л. Басина и др., совместное применение ультрафиолетового излучения с окислителем обеспечивает гибель 99,99% споровых форм и вирусов, значительное снижение неорганических и органических веществ, достигается более высокий бактерицидный и вирулецидный эффект.

Бактерицидные установки экономически выгодно применять на водоочистных станциях небольшой производительности.

13.2. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ УЛЬТРАЗВУКОМ

Ультразвук называют механические колебания, частота которых выше порога слышимости человеческого уха, т. е. более 20 000 колебаний в секунду (>20 кГц).

Представив волновой спектр графически (рис. 13.4), увидим, что практически полученные ультразвуковые колебания (рис. 13.4, а) охватывают лишь часть радиодиапазона, а теоретически возможная область ультразвуковых частот (рис. 13.4, б) достигает

оптического диапазона.

Одна из особенностей ультразвука – большая интенсивность колебаний – обуславливает его физико-химическое и биологическое действие.

Ультразвуковые колебания в технике получают пьезоэлектрическим и магнитострикционным методами.

Источником ультразвуковых колебаний, получаемых пьезоэлектрическим методом, являются пластинки из горного хрусталя, кварца, турмалина, титаната бария, цирконата свинца, обладающие свойством утолщаться и утоньшаться под действием переменного тока, генерируя ультразвук такой же частоты, какую имеет переменное электрическое поле. Толщина применяемых пластинок обычно колеблется от нескольких миллиметров до 1 см. Хотя кристаллы других веществ (например, сегнетовой соли) и способны производить более мощные ультразвуковые колебания, чем кварцевые, применяются они реже из-за малой прочности.

Ультразвуковые колебания, получаемые магнитострикционным методом, основаны на свойстве никелевого или стального стержня быстро намагничиваться и размагничиваться и при этом периодически удлиняться или укорачиваться, издавая звук определенной частоты. Этот метод рентабельнее пьезоэлектрического, но менее эффективен. На рис. 13.5. представлены принципиальные схемы магнитострикционного и пьезоэлектрического ультразвуковых генераторов.

Единой теории, объясняющей бактерицидное действие ультразвука, пока не существует. Однако большинство исследователей придерживаются мнения, что в ультразвуковом

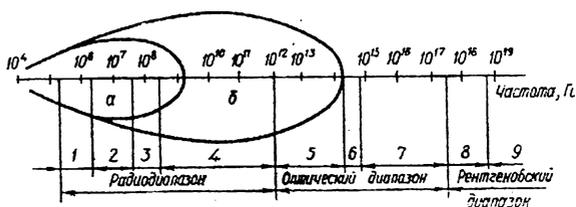


Рис. 13.4. Схема волнового спектра с широковещательным (1), коротковолновым (2), видеочастотным (3), микроволновым (4), инфракрасным (5) и ультрафиолетовым (7) диапазонами; 6 – видимый свет; 8 – рентгеновское излучение; 9 – γ -излучение; а – практически полученный диапазон ультразвуковых частот; б – теоретически возможный диапазон ультразвуковых частот.

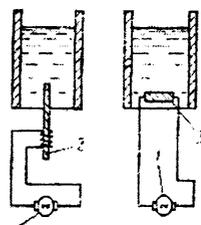


Рис. 13.5. Схемы магнитострикционного (а) и пьезоэлектрического (б) ультразвуковых генераторов:

- 1 – генераторы высокой частоты;
- 2 – катушка возбуждения;
- 3 – пьезокристалл.

поле происходит преимущественно механическое разрушение бактерий в результате ультразвуковой кавитации. Эту гипотезу подтверждают данные электронной микроскопии. На полученных снимках клеточная оболочка бактерий, подвергнутых действию ультразвука, разрушена, чего не наблюдается у бактерий, убитых нагреванием. Этим методом в тонком слое жидкости в течение 1-2 мин уничтожается до 95% бактерий кишечной палочки. Ультразвук разрушает также дизентерийные палочки, тифозный вирус и другие микроорганизмы.

Эффективность бактерицидного действия ультразвуковых колебаний зависит от формы микроорганизмов, прочности и химического состава клеточной стенки, наличия капсулы, возраста культуры, продолжительности и интенсивности озвучивания, частоты ультразвуковых колебаний.

Изменяя продолжительность и интенсивность озвучивания, можно воздействовать почти на все виды микроорганизмов. В поле ультразвуковых волн подвергаются дезинтеграции грамположительные и грамотрицательные, аэробные и анаэробные бактерии, палочковидные, кокковые и другие формы микроорганизмов. Наиболее чувствительны к действию ультразвука нитчатые формы микроорганизмов, наименее чувствительны – шарообразные, палочкообразные занимают промежуточное положение.

Сильное губительное действие оказывает ультразвук с длиной волны, соизмеримой с размерами озвучиваемых микроорганизмов. Частоты 20, 26, 30 кГц по бактерицидному действию практически равнозначны; основная масса бактерий гибнет за 2-5 с.

Толщина слоя воды при озвучивании (в определенных пределах) мало влияет на бактерицидный эффект, и процент гибели бактерий для слоев толщиной 10 см практически одинаков. Бактерицидный эффект ультразвука не зависит от мутности (в пределах до 50 мг/дм^3) и цветности озвучиваемой воды, влияет в одинаковой степени как на вегетативные, так и на споровые формы микроорганизмов, сильно зависит от интенсивности озвучивания. Увеличение интенсивности, как правило, приводит к усилению бактерицидного действия ультразвука, а озвучивание микроорганизмов с малой интенсивностью может даже стимулировать их рост.

Используя ультразвук, можно добиться не только самостоятельного бактерицидного эффекта, но и значительно повысить дезинфицирующее действие малых доз химических (хлор, пероксид водорода, серебро) и физических (ультрафиолетовое, бактерицидное излучение) агентов. Например, ультразвуковая обработка воды магнетострикционным излучателем (частота колебаний 25 кГц, интенсивность озвучивания $2,5 \text{ Вт/см}^2$) в сочетании с последующей

обработкой хлором дозой $1,5 \text{ мг/дм}^3$ позволяет обеззараживать воду до требований стандарта за 30-60 с, в то время как аналогичный эффект одним только хлорированием дозой $2-2,5 \text{ мг/дм}^3$ достигается лишь за 30 мин.

Действие ультразвука на бактерии проявляется значительно интенсивнее в жидкостях, содержащих газы. С этой точки зрения представляет большой интерес не только хлорирование, но и озонирование в ультразвуковом поле. В последнем случае границы применения каждого из этих агентов в технологии обработки воды могут быть значительно расширены.

Комбинированная обработка воды особенно перспективна в случаях, когда требуется обеззараживать воду, проходящую ненадежную предочистку.

Для решения вопроса о целесообразности применения ультразвука в водоснабжении необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования для установления оптимальных параметров ультразвуковой обработки воды при ее очистке от отдельных химических соединений, биологических загрязнений и гигиенической оценки данного метода. Необходимо также разработать мощные и экономичные ультразвуковые установки, пригодные для обработки больших объемов воды.

13.3. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ИОНАМИ СЕРЕБРА

В 1930 г. Л.А. Кульский впервые разработал электрохимический метод обеззараживания питьевой воды серебром. Через два года сходная методика была опубликована в Германии, а затем и в Англии. Сейчас этот метод применяется во многих странах мира.

Серебро является высокоэффективным обеззараживающим реагентом в отношении всех патогенных микроорганизмов. Оно обладает ценным свойством консервировать воду на длительное время. Вода, обработанная серебром ($0,1 \text{ мг/дм}^3$), сохраняет высокие санитарно-гигиенические показатели в течение года и более.

Для объяснения механизма бактерицидного действия серебра выдвинуто ряд гипотез: гибель клетки из-за нарушения процессов обмена под влиянием ионов серебра на ферменты бактерий; проникновение ионов серебра внутрь клетки, соединение их с цитоплазмой и разрушение клетки; адсорбция Ag^+ на клетке, что катализирует процесс окисления цитоплазмы кислородом воздуха. Вероятно, что при обеззараживании воды ионами Ag^+ в той или иной степени влияют все перечисленные факторы.

Бактерицидное и консервирующее действие электролитических растворов серебра установлено в дозе $0,05 \text{ мг/дм}^3$ и выше при

длительности контакта 30-60 мин. При необходимости введения больших доз серебра в воду современные обеззараживающие и консервирующие установки снабжены аппаратурой для десеребрения ее.

Обогащать воду Ag^+ можно контактированием воды с развитой поверхностью металла, непосредственным растворением в воде солей серебра, электролитически. Последний метод имеет практическое значение. Он основан на анодном растворении серебра, что обеспечивает получение нужных концентраций металла в короткие сроки и позволяет электроизмерительными приборами точно дозировать реагенты и регулировать процесс. Для электролитического растворения серебра в воде используют ионаторы системы Л.А. Кульского.

Основными частями ионаторов являются электродозирующее устройство и серебряные электроды. Электродозирующее устройство состоит из: понижающего трансформатора; выпрямителя, преобразующего переменный ток в постоянный; вольтметра, измеряющего напряжение постоянного тока; миллиамперметра, измеряющего силу тока и соответствующую ему скорость перехода ионов серебра в раствор; реостата, регулирующего силу тока; переключателя полярности электродов; деталей, автоматизирующих процесс. Серебряные электроды обычно помещены в сосуд, через который протекает вода. Количество ионов серебра D_c , переходящих в раствор, определяется по показаниям миллиамперметра на основании закона Фарадея с внесением поправок на выход по току в зависимости от солевого состава воды и условий электролиза

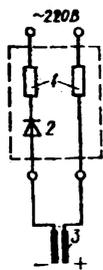


Рис. 13.6.
Принципиальная
электрическая
схема ионатора ЛК-27:
1 – резисторы по 2,5-
10 кОм; 2 – выпрямитель
(диод Д7 Ж); 3 – серебря-
ные электроды.

$$D_c = AIt \frac{\eta}{100}$$

где A – электрохимический эквивалент серебра (1,118 мг/А·с); I – сила тока, А; t – длительность электролиза, с; η – выход серебра по току, %.

В настоящее время эксплуатируются ионаторы, предназначенные для индивидуального пользования в бытовых условиях (ЛК-27) и для обеззараживания воды на мелких хозяйственно-питьевых водопроводах, предприятиях пищевой промышленности и общественного питания, в плавательных бассейнах, при разливе минеральных вод (ЛК-28) и др.

Ионатор ЛК-27 состоит из штепсельной вилки, в которую вмонтировано выпрямительное устройство (два резистора и диод), и пластмассовой вилки с электродами (анод—серебро, катод—нержавеющая сталь), защищенных перфорированным колпачком (рис.13.6). Поскольку сопротивления, включаемые последовательно в сеть, значительно больше сопротивления слоя воды между электродами, сила тока, проходящего через воду, определяется в основном напряжением переменного тока (220 В) и омическим сопротивлением резисторов. Отклонение в дозировке серебра при этом не превышает 5 %, что допустимо.

Автоматический ионатор ЛК-28 напорного типа состоит из электропульта и гидравлической части (рис.13.7.) Электрическая схема ионатора преобразует переменный ток напряжением 220 или 127 В в постоянный напряжением 18 В, обеспечивает равномерный износ электродных пластин и уменьшает их поляризацию изменением полярности; выключает аппарат через определенное время. Основными узлами гидравлической части являются электролизер и резервуар-накопитель, связанный с водопроводной магистралью системой труб.

В ионаторе ЛК-28 можно растворять до 10 г/ч серебра, что обеспечивает обработку от 50 до 200 м³/ч воды. Необходимое количество ионаторов рассчитывают исходя из производительности станции и дозировки серебра, определяемой экспериментально.

Ионаторами ЛК-28 (ИЭМ-50) морского исполнения оснащено более 100 крупных морских судов Черноморского и Балтийского пароходств и Мурманского тралового флота.

Это позволило сократить валютные затраты на покупку питьевой воды в заграничных портах, снизить заболеваемость среди моряков и улучшить санитарно-гигиенические условия водообеспечения судов.

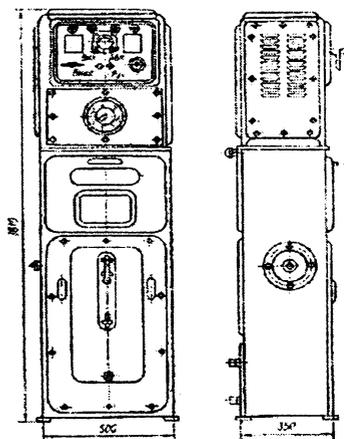


Рис. 13.7. Общий вид автоматизированного ионатора ЛК-28 (ИЭМ-50).

13.4. ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ

Термический метод, обычно применяемый для обеззараживания небольших количеств воды, используется в санаториях, больницах, в учреждениях, на пароходах, в поездах и т. д.

Полное обеззараживание воды, т. е. гибель всех находящихся в ней патогенных бактерий, достигается 5-10-минутным кипячением. Для получения кипяченой воды на практике обычно пользуются кипяtilьниками системы Бессонова, «Вулкан», «Титан» и др.

Термический метод обеззараживания воды не нашел применения даже на малых водопроводах из-за его дороговизны, связанной с большими расходами топлива и малой пропускной способностью аппаратов.

13.5. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ РЕНТГЕНОВСКИМ И РАДИОАКТИВНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

До настоящего времени эти методы исследованы мало, а поэтому о перспективности их применения пока судить нельзя.

В радиобиологии различают два основных типа излучений – длинноволновые (295-200 нм, в т. ч. и УФ-излучение) и коротковолновые (прежде всего рентгеновское) с длиной волны 60-100 нм. Бактерицидное действие первого типа излучения подробно рассмотрено выше.

Коротковолновое излучение, глубоко проникая в ткани и клетки, вызывает значительные их изменения и ионизацию. Процесс ионизации клетки состоит в том, что некоторые атомы, поглощая энергию, под влиянием излучения испускают электроны и приобретают положительные заряды. Образовавшийся свободный электрон присоединяется к незаряженному атому, а последний, получая заряд, превращается в отрицательно заряженный ион. Так создаются пары ионов. Изменение электронной структуры атомов нарушает химические связи, вследствие чего разрушаются молекулярные структуры клетки. Сильнее других повреждаются ядерные элементы клетки, особенно носители генетических свойств – нуклеиновые кислоты; претерпевает различные изменения также и цитоплазма. Результаты воздействия коротковолнового излучения на наследственные свойства клеток стойки и необратимы.

13.6. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ВАКУУМИРОВАНИЕМ

Сущность метода заключается в инактивирующем действии процесса кипения в условиях пониженного давления. Обеззараживание происходит под действием продуктов кавитационного разложения воды при различных значениях давления и температуры в области ограниченной кривой давления насыщенных паров воды (рис. 13.8).

Кавитационно-вакуумная обработка может осуществляться при низких температурах, исключаящих термические факторы обеззараживания, не вызывающих термодеструкции материалов и изменения витаминного состава и вкусовых качеств обрабатываемой жидкости.

Наиболее рациональным в техническом отношении является режим обработки при температуре 20-60°C и давлении 2,2-13,3 кПа, для установления которого не требуются глубоковакуумные установки.

Полный бактерицидный эффект в отношении основных микроорганизмов достигается в течение 15-20 мин. Метод может быть использован в технологии консервирования жидких пищевых продуктов.

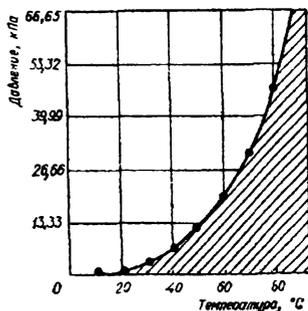
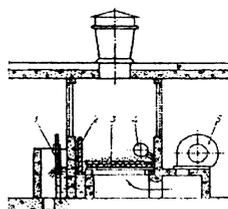


Рис. 13.8. Давление насыщенного пара воды при различной температуре (область вакуумного обеззараживания заштрихована)

Глава 14. ДЕЗОДОРАЦИЯ ВОДЫ



14.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДЕЗОДОРАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ

Для получения хозяйственно-питьевой воды с высокими органолептическими показателями (отсутствие цветности, мутности, привкусов, запахов, токсичных химических веществ и др.) применяются различные методы очистки. Однако в отличие от процессов осветления и обесцвечивания воды, которые хорошо изучены и внедрены в практику удаления гетерофазных примесей, методы дезодорации воды, т. е. улучшения ее органолептических качеств, до настоящего времени применяются недостаточно.

В то же время проблема улучшения органолептических показателей качества воды приобретает особое значение в связи с необходимостью использования поверхностных источников водоснабжения поскольку запасов подземных вод не хватает. Кроме того, подземные воды, которые еще недавно считались относительно чистым и надежным источником питьевой воды, оказались, по современным данным, весьма уязвимыми для загрязнения. В них обнаруживаются многие органические летучие вещества: трихлорэтилен, тетрахлорэтилен, четыреххлористый углерод, 1,2-дихлорэтан, винилхлорид и др. По данным О.Д. Минц, от 16 до 37% исследованных образцов подземных вод США содержали один из представителей органических летучих веществ. Дезодорация такой воды чрезвычайно осложняется из-за непрерывного загрязнения водных объектов сточными водами промышленных предприятий, часто содержащими значительные количества гомофазных примесей.

Пониженные органолептические качества природных вод часто обуславливаются особенностями их минерального и органического состава.

Различают запахи и привкусы, вызываемые неорганическими соединениями (минеральные соли, сероводород и др.) и органическими веществами. К последним относят органические вещества как биологического происхождения, так и вносимые со сточными вода-

ми промышленных предприятий.

Появление в воде растворенных органических веществ биологического происхождения является следствием течения процессов интенсивного разложения и последующей трансформации остатков высших водных растений, а также большого количества планктонных и бентосных организмов, различных грибов и бактерий. Наиболее интенсивно обогащается природная вода органическими веществами в период «цветения» водоемов, поскольку в это время вследствие массовой жизнедеятельности водорослей и других организмов в воду выделяется большое количество низкомолекулярных спиртов, альдегидов, кетонов, карбоновых кислот и оксикислот, фенолсодержащих и других веществ, имеющих сильный запах.

Сброс промышленных сточных вод в природные водоемы приводит к загрязнению воды различными по составу и свойствам органическими соединениями. Среди них наиболее распространены нефть и нефтепродукты, полифенолы, синтетические алифатические спирты и кислоты, поверхностно-активные и органические летучие вещества, пестициды и т. п.

В некоторых случаях органолептические свойства воды могут ухудшаться в результате неправильной эксплуатации очистных сооружений или при обработке ее большими дозами реагентов. Так, в процессе обесцвечивания воды коагулированием без последующей стабилизации органолептические показатели ухудшаются вследствие увеличения коррозионной активности воды. При обеззараживании воды хлором показатели качества воды ухудшаются как при нарушении режима хлорирования, так и в случае образования соединений, имеющих запах при взаимодействии хлора с содержащимися в обрабатываемой воде веществами. Доведение органолептических показателей воды до норм, установленных СанПиНом, в некоторых случаях достигается попутно при осветлении, обесцвечивании или обеззараживании, а также при нормализации технологического режима ее обработки и правильной эксплуатации очистных сооружений. Однако в большинстве случаев для устранения привкусов и запахов требуется проведение специальных мероприятий.

Выбор последних зависит от характера примесей и состояния, в котором они находятся (истинные растворы, газы, коллоиды, взвеси).

Хотя единых, универсальных методов устранения всех видов запахов и привкусов не существует, однако некоторые из них сами по себе или в сочетании друг с другом обеспечивают требуемую степень дезодорации. Когда вещества, продуцирующие неприятные запахи и привкусы, находятся в коллоидном и взвешенном состоянии, их удаляют из воды коагулированием. Запахи и привкусы, обусловленные повышенным содержанием неорганических веществ,

находящихся в молекулярном и ионном состояниях, удаляют корректированием минерального состава воды (обессоливанием, обезжелезиванием, дегазацией и др.). Запахи и привкусы, вызываемые органическими веществами (биологического происхождения либо вносимыми промышленными сточными водами) являются наиболее стойкими. Удаляют их в большинстве случаев окислением, адсорбированием, иногда аэрированием.

Методами окисления хорошо удаляются из воды вещества, обладающие сильными восстановительными свойствами. К ним относятся: поли- и одноатомные фенолы, дубильные вещества и гумусовые кислоты, соли железа (II), сероводород, нитриты и т. п. Более устойчивые соединения, например углеводороды нефти и нефтепродуктов, карбоновые кислоты, алифатические спирты, фосфорорганические пестициды и т. п., в условиях обработки питьевой воды активным хлором, оксидом хлора (IV), а иногда и озоном окисляются плохо. В некоторых случаях сильные окислители, взаимодействуя с перечисленными веществами, не только не устраняют запахи и привкусы в воде, но значительно их усиливают и образуют более токсичные соединения.

В то же время действие окислителей на легкоокисляемые соединения приводит либо к полному их разложению, либо к образованию промежуточных веществ, не влияющих на органолептические показатели воды. Вода при таком окислении полностью дезодорируется и ее вкус улучшается.

Адсорбирование по сравнению с окислением является более универсальным методом по отношению к удаляемым загрязнениям воды. Однако и сорбенты проявляют избирательность при извлечении из воды различных по составу и свойствам веществ. Так, в настоящее время установлено, что из водных растворов хорошо сорбируются активированным углем гидрофобные вещества, т. е. вещества, плохо растворимые в воде и слабо гидратирующиеся в растворах. К таким веществам принадлежат многие молекулярно-растворимые соединения и слабые органические электролиты, например фенолы. Более сильные органические электролиты и многие полярные органические ациклические соединения (спирты, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты) сорбируются углем из воды менее эффективно. Для их устранения требуются повышенные расходы угля.

Адсорбция органических летучих веществ из подземных вод – очень сложный технологический процесс, который зависит от их типа концентрации и вида гранулированного активированного угля, времени контакта, температуры и pH среды.

В условиях интенсивного загрязнения водоемов дезодориро-

вать воду следует, сочетая методы окисления и адсорбирования, а также азированием, при котором устраняются легколетучие соединения.

14.2. АЗИРОВАНИЕ ВОДЫ

На протяжении нескольких десятилетий единственным методом устранения из природных вод привкусов и запахов, вызываемых органическими веществами биологического происхождения, было азирование воды, основанное на летучести этих соединений.

На практике азирование проводят в специальных установках – *азраторах* барботажного, разбрызгивающего и каскадного типов.

В *азраторах* барботажного типа воздух, подаваемый воздуходувками, распределяется в воде дырчатыми трубами, подвешенными в резервуаре (рис. 14.1), распылительными устройствами, расположенными на его дне.

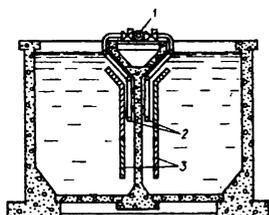


Рис. 14.1. Схема барботажного азратора с распределением воздуха дырчатыми трубами:

1 – воздушная линия; 2 – дырчатые трубы; 3 – направляющие перегородки.

Распределение воздуха распылительными устройствами часто применяется в азраторах со спиральным движением воды, которые применяются на крупных установках.

Глубина слоя воды в азраторах такого типа колеблется от 2,7 до

4,5 м. Исследования показывают, что поскольку равновесие между концентрациями веществ, имеющих запах, в жидкой и газообразной фазах достигается мгновенно, высота слоя воды при барботировании не играет существенной роли и может быть уменьшена до 1-1,5 м. Максимальная ширина резервуара обычно в два раза больше, чем глубина. Площадь поверхности выбирают произвольно. Длительность продувания воздуха, как правило, не превышает 15 мин. Расход воздуха составляет 0,37-0,75 м³/мин на 1 м³ воды.

Барботажные установки открытого типа могут работать при температуре ниже 0°С. Степень азирования легко регулируется изменением количества подаваемого воздуха. Стоимость установок и их эксплуатации невысока.

В *разбрызгивающих азраторах* вода распыляется соплами на мелкие капли, при этом увеличивается поверхность ее контакта с воздухом. Основным фактором, определяющим работу азратора, является форма сопла и его размеры. Продолжительность соприкосновения воды с воздухом, определяемая начальной скоростью

струи и ее траекторией, обычно составляет 2 с (для вертикальной струи, которая выбрасывается под напором 6 м).

В аэраторах каскадного типа обрабатываемая вода падает струями через несколько последовательно расположенных водосливов. Длительность контакта в этих аэраторах может быть изменена за счет увеличения количества ступеней. Потеря напора на аэраторах каскадного типа колеблется от 0,9 до 3 м.

В аэраторах смешанного типа вода одновременно разбрызгивается и стекает тонкой струей с одной ступени на другую. Для увеличения площади соприкосновения воды с воздухом применяют керамические шары или кокс.

Общим недостатком аэраторов, построенных на принципе контакта пленки воды с воздухом, является их неэкономичность из-за большой площади, невозможность использования в зимнее время, потребность в мощной вентиляции при установке их в помещениях и, наконец, склонность к обрастанию.

Аэрирование воды в пенном слое осуществляется в инка-

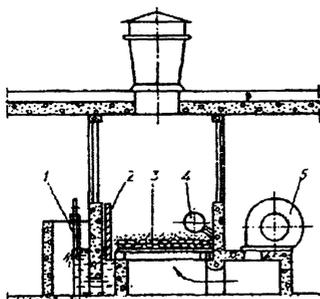


Рис. 14.2. Схема инка-аэратора.

аэраторе (рис. 14.2), представляющем собой бетонный резервуар, на дне которого находится перфорированная пластина из нержавеющей стали 3. Вода равномерно распределяется по пластине распределительной трубой 4. Для стабилизации слоя пены применяется специальная перегородка 2. Аэрируют воду воздухом, подаваемым вентилятором 5. Вода, пройдя инка-аэратор, выпускается через водослив 1.

Образование огромной пограничной поверхности между жидкой и газообразной фазами обеспечивает высокую интенсивность процесса дезодорации. Нормальное соотношение воздуха и воды в инка-аэраторах колеблется в пределах 30:1 – 300:1. Несмотря на большой расход воздуха, интенсивное аэрирование экономически оправдано (благодаря незначительной потере напора воздух подается вентилятором).

Однако аэрированием трудно или невозможно устранить стойкие запахи и привкусы, обусловленные наличием примесей, имеющих незначительную летучесть.

В практике зарубежных водопроводов аэрирование применяется на многих станциях.

14.3. ОБРАБОТКА ВОДЫ ОКИСЛИТЕЛЯМИ

В связи с возросшим загрязнением подземных и поверхностных вод органическими соединениями за счет их смыва с сельскохозяйственных угодий, нарушения процессов очистки, промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, неэффективной работы септиков и отстойников, значение окислителей в практике водоподготовки существенно возрастает.

Однако токсиколого-гигиеническая и технологическая оценка эффективности использования их показывает, что очень важным является выбор окислителя для очистки воды от химических загрязнений.

Следует учитывать величину его окислительно-восстановительного потенциала, способность к реакциям замещения, а также факторы, влияющие на эффективность очистки воды: pH, концентрация общего органического углерода, щелочность, жесткость, цветность, доза и точка введения окислителя и др.

Для устранения цветности и дезодорации воды применяют сильные окислители: хлор и его соединения, перманганат калия, озон, пероксид водорода и др.

Небольшие дозы хлора обычно усиливают запахи и привкусы, особенно при наличии в воде фенолов вследствие образования моно-, ди- и трихлорфенолов (C_6H_4ClOH , $C_6H_3Cl_2OH$, $C_6H_2Cl_3OH$), обладающих сильным неприятным запахом, а также токсичных хлорорганических соединений (хлорированных углеводородов).

Поэтому в данном случае либо увеличивают окислительно-восстановительный потенциал системы «природная вода – хлор», применяя перехлорирование, либо снижают его хлорированием с аммонизацией.

Перехлорирование воды большими дозами хлора (8-14 мг/дм³), когда соотношение концентраций (по массе) хлора и фенола превысит 6:1, обуславливает окисление фенолов до малеиновой ($HOOC-(CH)_2-COOH$) и угольной кислот, не имеющих неприятного запаха. Перед подачей такой воды потребителю необходимо дехлорировать ее химическими (оксид серы (IV), гипосульфит или сульфит натрия) или адсорбционным (активированный уголь) методами. Длительность контакта воды с большими дозами хлора при обработке должна быть не менее 2-3 ч. Хлорировать воду целесообразно в ковше или в насосной станции первого подъема, дехлорировать – после резервуара чистой воды.

При наличии в воде только одноатомных фенолов целесообразно обрабатывать ее оксидом хлора (IV), требуемая доза которого для дезодорации в этом случае примерно в четыре раза меньше, чем хлора, что объясняется образованием не хлорфенолов, а хино-

нов ($C_6H_4O_2$) и хлорированных хинонов ($C_6H_3ClO_2$).

Дозу хлора для удаления органических веществ, вызывающих цветность воды, снижения интенсивности запахов и привкусов ориентировочно принимают по рекомендациям СНиП 2.04.02.-84 в зависимости от перманганатной окисляемости воды:

Окисляемость воды, мг O_2 /дм ³	Доза хлора, мг/дм ³
8-10	4-8
10-15	8-12
15-25	12-14

Для устранения хлорфенольного запаха и привкуса применяют *хлорирование с аммонизацией*. Поскольку скорость взаимодействия хлора с аммиаком более чем в сто раз превышает скорость его взаимодействия с фенолом, преимущественно образуются хлорамины, а не хлорфенолы.

Аммиак и аммонийные соли добавляют перед вводом в воду хлора из расчета 1:4 – 1:10 по отношению к дозе хлора. Метод хлорирования с аммонизацией применяется при содержании фенола в воде до 3 мг/дм³. Он не требует больших затрат и особых мер безопасности, не сопровождается образованием соединений, вредных для организма человека. Однако возможность использования этого метода ограничена, поскольку привкусы и запахи, вызываемые органическими веществами биологического происхождения, в данном случае не устраняются.

При хлорировании с аммонизацией водоочистные станции оборудуют аммонизаторными установками. Применяемый для аммонизации технический сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ содержит значительное количество загрязнений, поэтому его растворяют в аппаратуре, аналогичной используемой при растворении хлорной извести.

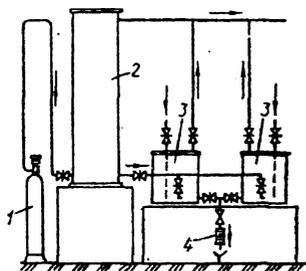


Рис. 14.3. Схема установки для аммонизации воды раствором аммиака:

1 - баллон с аммиаком; 2 - бак-абсорбер; 3 - рабочий бак; 4 - мерник.

Газообразный аммиак из баллонов дозируют и растворяют в воде аммонизаторами, конструктивно сходными с хлораторами типа ЛК-10. Если аммонизацию проводят аммиачной водой, применяют установку, состоящую из двух работающих попеременно баков, оборудованных по типу сосуда Мариотта и соединенных с мерником (рис. 14.3). Аммиачную воду из газообразного аммиака готовят в

Исследование реакции хлора

с выделенными из воды и почв окрашенными органическими кислотами показывает, что при всех значениях pH преобладают реакции окисления, приводящие к обесцвечиванию воды. Окисление компонентов окрашивающих воду веществ протекает практически с одинаковой скоростью, однако количественные изменения окраски отдельных составляющих водного гумуса зависят от их концентрации в воде. Если учесть, что цветность природных вод обусловлена в основном фульвокислотами, целесообразность применения повышенных доз хлора для их очистки не вызывает сомнения. Одновременно снижается концентрация креновых кислот, плохо сорбирующихся гидрооксидами алюминия и железа (III).

Температура на процесс обесцвечивания воды влияет незначительно. Действие обычных доз хлора на вещества, придающие воде привкусы и запахи, можно усилить добавлением 0,3-0,5 мг/дм³ перманганата калия перед или после введения хлора.

В первом случае перманганат калия разрушает органические вещества, вступающие в реакцию с хлором и образующие хлорпроизводные с резким неприятным запахом, во втором – он разлагает образовавшиеся хлорпроизводные. Перманганат калия добавляют до введения хлора при наличии в воде фенолов. Другие реагенты (коагулянт, активированный уголь) при этом следует вводить не ранее, чем через 10-15 мин после добавления перманганата.

Для удаления органических веществ, снижения интенсивности привкусов и запахов перманганат калия можно применять самостоятельно. Его дозу в этом случае определяют по показателю перманганатной окисляемости воды, характеризующему загрязнение органическими веществами:

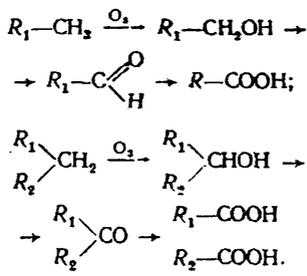
Окисляемость воды, мг O ₂ /дм ³	Доза перманганата калия, мг/дм ³
8-10	2-4
10-15	4-6
15-25	6-10

При наличии очень сильных запахов и привкусов допускается применение и больших доз реагента, однако они должны быть обоснованы технологическими исследованиями. Для дезодорации воды перманганат калия применяют в виде 0,5-2,0%-го раствора (в пересчете на товарный продукт). Готовят такой раствор в стальных или железобетонных баках с наклоном стенок дна под углом 40-45° к горизонтали; перемешивают гидравлическим, механическим способом или азированием. Растворно-расходных баков должно быть не менее двух. Дозируют отстоянный раствор в воду дозаторами (например, поплавковыми), транспортируют к месту его ввода по стальным или пластмассовым трубопроводам. При расчете объема растворно-расходных баков длительность полного растворения то-

варного продукта принимают в зависимости от температуры воды. Эффективным методом удаления цветности и дезодорации воды является *озонирование*. Благодаря высокому окислительному потенциалу (2,07 В), озон окисляет вещества, обуславливающие привкусы и запахи, которые обычно не окисляются другими реагентами. Длительность контакта озона с водой не превышает 10-15 мин.

Озон окисляет соединения, вызывающие цветность воды, превращая их молекулы в более простые, не имеющие окраски (креновые, субкреновые кислоты и др.).

В связи с тем, что озон поступает в воду с большим количеством воздуха, одновременно происходит и аэрирование воды. В результате озонирования вода приобретает освежающий привкус и запах, характерный для поверхностных или ключевых вод наилучшего качества. Озон ограниченно растворим в воде, и его растворимость значительно уменьшается при повышении температуры. Поэтому, несмотря на сильные окислительные свойства, при большом загрязнении воды органическими веществами озон не дает хорошего дезодорирующего эффекта. Это можно проиллюстрировать таким примером. При загрязнении воды повышенными количествами углеводородов нефти и нефтепродуктов озонирование воды сопровождается реакциями:



Углеводороды нефти окисляются озоном в карбоновые кислоты ступенчато: в качестве промежуточных продуктов образуются альдегиды и кетоны, часто обладающие сильным и неприятным запахом и привкусом.

Предельно допустимые концентрации альдегидов и кетонов в воде составляют 0,1-2,0, а низкомолекулярных карбоновых кислот – 5-250 мг/дм³. Из этого следует, что высокий дезодорирующий эффект возможен лишь при окислении не только исходных веществ, но и промежуточных продуктов реакции. Однако за время обработки воды озоном это в ряде случаев не достигается. Реакция окисления прекращается на промежуточной стадии и обрабатываемая вода приобретает новый неприятный запах.

Если же содержание альдегидов и кетонов в воде незначительно, то окисление их озоном происходит с большей полнотой, и концентрации промежуточных продуктов снижаются ниже предельно допустимых. При этом из воды практически устраняются запахи и привкусы.

Аналогично окислению углеводов нефти идет окисление алифатических спиртов, поскольку промежуточными продуктами реакции также являются альдегиды и кетоны. Поэтому, как показывают исследования, алифатические спирты, концентрации которых превышают предельно допустимые, даже в случае значительной продолжительности озонирования из воды не устраняются.

Из этого следует, что применение озона наиболее эффективно для очистки мало загрязненных природных вод. При величине перманганатной окисляемости воды 8-10, 10-15, 15-20 мг O_2 /дм³ дозу озона соответственно принимают 1-3, 3-5, 5-8 мг/дм³.

Можно также использовать комбинированные методы – хлорировать воду на первичных стадиях ее очистки, а обрабатывать озоном при подаче потребителю. В этом случае органолептические показатели озонированной воды не снижаются.

Запахи и привкусы, вызываемые наличием в воде некоторых ядохимикатов, эффективно устраняются *пероксидом водорода* (H_2O_2).

Например, обработка растворов эптама исходной концентрацией 19 мг/дм³ дозой пероксида водорода 68 мг/дм³ снижает интенсивность запаха примерно в пять раз. Препятствием для широкого использования пероксида водорода в водоподготовке служило отсутствие дешевого способа его получения. Внедрение разработанного метода синтеза пероксида водорода окислением вторичных спиртов позволит значительно снизить его стоимость и расширить область применения для очистки воды от загрязнений.

Основные места и последовательность ввода окислителей принимают в соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.02.-84.

В большинстве случаев при обработке воды окислителями исчезают запахи и привкусы, снижается или полностью исчезает цветность, вода перестает пениться. Однако метод окисления примесей воды не является универсальным и санитарно надежным. Многие химические вещества в обычных условиях с небольшими дозами окислителей не реагируют (пиридин, бензол и его производные, альдегиды, некоторые ароматические соединения, кислоты) или окисляются ими не полностью с образованием более токсичных соединений: линурона, фенурона и др.

Отсюда следует, что применение окислителей не должно выходить за пределы так называемых «критических» концентраций

химических веществ в воде, при которых возникает технико-экономическая целесообразность применения высоких доз окислителя или опасность появления неблагоприятных продуктов реакции. С учетом уровня и вида химического загрязнения воды требуется соблюдение особой точности дозирования окислителей.

Поэтому применять окислители для дезодорации воды рекомендуется в тех случаях, когда есть гарантия, что их действие не приведет к образованию новых неблагоприятных органолептических показателей и свойств воды или опасных для здоровья людей химических веществ.

14.4. АДСОРБЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДЕЗОДОРАЦИИ ВОДЫ.

14.4.1. Характеристика, получение и свойства сорбентов

Для адсорбционной очистки воды от примесей, ухудшающих органолептические показатели, применяются порошкообразный и гранулированный активированный уголь, углеродные волокнистые материалы, активированный антрацит и неуглеродные адсорбенты (глинистые породы), цеолиты и др.

Наиболее перспективным адсорбентом является *активированный уголь*, природные графит (СГН), цеолиты СПЦ и др. Первые попытки использования активированного угля в России относятся к 1930-1940 гг. Так, на Рублевском водопроводе в 1936-1939 гг. был применен торфяной активированный уголь для устранения из воды земляного запаха. Доза составляла 10-15 мг/дм³. Однако из-за низкого качества угля результаты опытов были неудовлетворительными. Применение активированного угля позволяет устранить почти все привкусы и запахи из природной и обессоленной воды, значительно улучшить технологические показатели обработки воды другими реагентами и, наконец, интенсифицировать обеззараживание в результате сорбции простейших, бактерий, вирусов и других микроорганизмов.

Активированный уголь изготавливают из углеродсодержащих материалов: угля, антрацита, древесины, торфа, полимеров, отходов пищевой, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

Размолотое до размеров 10-100 мкм и отсортированное сырье карбонизируют обычно в барабанных печах без доступа воздуха при температуре 700-800°C, в результате чего из угля выделяются летучие соединения, он уплотняется, приобретает прочность и макропористую структуру.

Активируют уголь газами (O_2 , CO_2 , SO_2) и солями ($ZnCl_2$, K_2CO_3 , K_2S и др.) при температуре 750-1 000 °С. Чаще других применяют комбинированный парогазовый способ с использованием топочных газов состава $H_2O+CO_2+O_2$. Неорганические активирующие добавки из угля вымывают.

Размеры частичек гранулированного активированного угля составляют 0,07-7,0, порошкообразного – 0,07-0,12 мм. Площадь их поверхности колеблется в пределах 450-1 800 м²/г. По способу производства активированные угли делятся на дробленые (БАУ, ДАК, КАД) и собственно гранулированные (АГ-3, АГМ, АОГВ, СКТ-6, F-400, TL-830(Бельгия) и др.

Для дезодорации и обесцвечивания питьевой воды на водопроводных очистных станциях применяется в основном активированный уголь, сорбционные свойства которого зависят от его пористости. По размерам поры подразделяются на микропоры, переходные поры и макропоры. Адсорбционные свойства углей в основном обусловлены микропорами, составляющими примерно 90% всей удельной поверхности активированного угля. На ней и протекают процессы адсорбции, в основе которых лежит взаимодействие энергетически ненасыщенных атомов углерода с молекулами адсорбируемых веществ. Лучше сорбируются вещества в молекулярной форме, хуже – в ионной. Способность органических веществ к сорбции возрастает в ряду:

*гликоли<спирты<кетоны<сложные эфиры<альдегиды<
<недиссоциированные кислоты<ароматические соединения.*

Способность к сорбции возрастает с ростом молекулярной массы органических веществ, мицеллярной массы коллоидов и температуры сорбатов.

В присутствии механических примесей сорбционная емкость активированного угля снижается. Поэтому поступающая на обработку активированным углем вода должна содержать не более 10 мг/дм³ взвешенных веществ.

Аналогично влияют продукты гидролиза $Al_2(SO_4)_3$. В концентрации 10-50 мг/дм³ они уменьшают сорбционную емкость гранулированного активированного угля на 20-35%. Ухудшается кинетика сорбции и снижается динамическая емкость также при насыщении активированного угля солями и оксидами железа. Последние, осаждаясь на угле, закрывают поры и затрудняют процесс регенерации. По этой причине часто при добавлении угольной суспензии совместно с коагулянтом до отстойников ее требуется несколько больше, чем при добавлении перед фильтрами.

Порошкообразный активированный уголь применяют при умягчении воды, гранулированный – при фильтрации через угольные

фильтры.

Высокой сорбционной емкостью и повышенной по сравнению с активированным углем удельной поверхностью (до 2 000 м²/г) обладают разрабатываемые новые сорбенты – *углеродные волокнистые материалы*.

Примером может служить активированное углеводородное волокно "Аквален", разработанное специалистами США (патент США № 5521008).

Их получают из полимерных гидратцеллюлозных и полиакрилонитриловых волокон термообработкой в потоке благородных газов при 600-1 050 °С. Для увеличения сорбционной емкости в процессе обработки сырья к нему добавляют соли тяжелых и редкоземельных металлов.

За счет расположения на поверхности множества функциональных групп, углеродные волокнистые материалы обладают во много раз большей сорбционной емкостью по сравнению с активированными углями и необратимо связывают ионы свинца, меди, кадмия, другие вещества.

Все шире применяются для обесцвечивания воды, удаления из нее неорганических примесей и особо токсичных хлорорганических соединений и гербицидов неуглеродные сорбенты – *глинистые породы, цеолиты* и др. Увеличить пористость, улучшить прочность и водостойкость этих материалов можно прокаливанием их с хлоридом и карбонатом натрия при 1 000 °С.

14.4.2. Технология дезодорации воды углеванием

Для подготовки хозяйственно-питьевой воды углеванием используют в основном древесные угли марок БАУ, ДАК, ОУ, а также уголь АГ-3. Угольные фильтры чаще всего загружают углем марки КАД и АГ-3.

Доза порошкообразного активированного угля для углевания воды зависит от местных условий, времени года, веществ, обуславливающих запахи и привкусы воды, качества угля, способа его приготовления и может колебаться от 0,1 до 200 мг/дм³. Дозу порошкообразного активированного угля перед фильтрами для устранения из воды запахов и привкусов следует принимать в зависимости от их интенсивности до 5 мг/дм³.

Место ввода порошкообразного активированного угля в схеме обработки воды должно обеспечивать максимальную диффузию сорбируемых веществ к активной поверхности угля и необходимую длительность контакта.

Обработка воды порошкообразным активированным углем

включает такие процессы, как приготовление угольной суспензии и ее дозирование, смешение отдозированной суспензии с обрабатываемой водой, поглощение из воды загрязнений, осаждение частиц угля в отстойнике.

Одним из основных этапов обработки воды углем является подготовка угольной суспензии необходимой концентрации. Подавать уголь в воду можно в виде сухого порошка (сухое дозирование) или в виде раствора или суспензии заданной концентрации (мокрое дозирование).

Сухое дозирование обладает преимуществами перед мокрым, это: отсутствие растворных и расходных баков, уменьшение производственных площадей, экономия реагентов, возможность улучшения условий автоматизации процесса, более высокие технико-экономические показатели. Недостатком способа является образование пыли и частое засорение дозирующих устройств.

Схема установки для сухого дозирования порошкообразного активированного угля приведена на рис. 14.4.

Дозатор порошкообразного активированного угля (рис. 14.5.) состоит из бункера 3, который во избежание сводообразования встряхивается эксцентриком с частотой 1000 колебаний в минуту. Приводом эксцентрика служит электродвигатель 14 с кривошипно-шатунным механизмом. Бункер смонтирован на раме 10 с помощью пружин 2 и соединен с корпусом зубчатого барабанного питателя 6 брезентовым мехом 4, предотвращающим его вибрацию. Расходный бункер может соединяться с за-

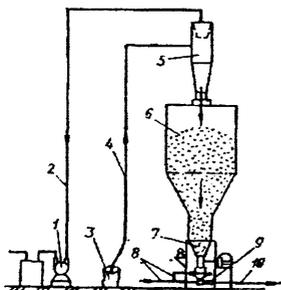


Рис. 14.4. Схема установки для сухого дозирования порошкообразного активированного угля:

- 1 - вакуум-насос; 2 - вакуум-линия; 3 - мешок с пылевидным АУ; 4 - гибкий шланг; 5 - вакуум-бункер; 6 - расходный бункер; 7 - дозатор АУ; 8 - водопровод; 9 - гидроэлеватор; 10 - подача угольной суспензии в воду.

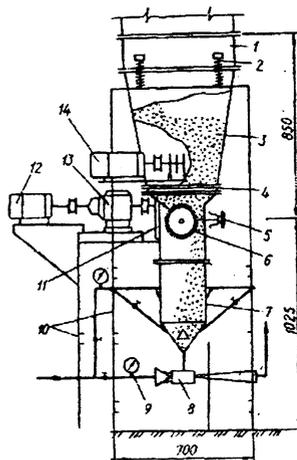


Рис. 14.5. Схема дозатора порошкообразного активированного угля

пасными емкостями соединительным патрубком 1. Дозирование порошкообразного активированного угля регулируется изменением ширины щелей между корпусом и зубчатым барабанным питателем (в пределах 1-25 мм), перекрывааемых заслонкой 5, и изменением количества оборотов барабанного питателя (в пределах 17,5-70 об/мин) с помощью цепного вариатора 13, соединенного с червячным редуктором 11. Приводом вариатора, редуктора и питателя служит электродвигатель 12.

Отдозированный уголь сыпается в смывное устройство 7, где смачивается водой, поступающей из водопровода 9 через сопла под давлением 0,07-0,20 МПа, перемешивается, засыпается в гидроэлеватор 8, откуда подается в обрабатываемую воду. При давлении перед гидроэлеватором не менее 0,4 МПа угольная суспензия может подаваться на высоту до 6 м.

Расчетная производительность дозатора активированного угля составляет от 2,3 до 340 кг/ч.

При мокром дозировании активированного угля его предварительно смешивают с водой барботированием воздухом или механическими мешалками.

Дозируют суспензию угля насосами-дозаторами типа НД, дозаторами типа ДИМБА и др. Транспортируют угольную суспензию гидроэлеваторами.

Основная масса введенного активированного угля осаждается совместно с коагулянтном в отстойниках, однако некоторая часть его поступает на фильтры, что приводит к сокращению межпромывочных периодов на 15-20%.

Наиболее совершенная схема дозирования угольной суспензии представлена на рис. 14.6.

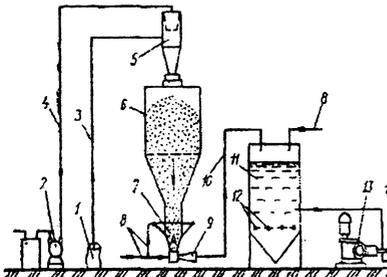


Рис. 14.6. Схема установки для мокрого дозирования порошкообразного активированного угля:

1 - мешок с АУ; 2 - вакуум-насос; 3 - гибкий шланг; 4 - вакуум-линия; 5 - вакуум-бункер; 6 - расходный бункер; 7 - дозатор АУ; 8 - водопровод; 9 - гидроэлеватор; 10 - пульпопровод; 11 - бак угольной суспензии; 12 - подача воздуха; 13 - насос-дозатор; 14 - подача угольной суспензии в воду.

14.5. ОКИСЛИТЕЛЬНО-СОРБЦИОННЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Сочетание процессов окисления и сорбции в одной технологической схеме позволяет достигать лучшего качества очищаемой воды, ряда технологических и экономических преимуществ по сравне-

нию с раздельным их применением: увеличение межрегенерационного периода работы фильтров, загруженных гранулированным активированным углем; более эффективное сорбирование продуктов окисления; увеличение скорости окисления и диапазона удаляемых из воды органических загрязнений; уменьшение потери угля на измельчение, истирание, и увеличение срока его службы. По данным Г.И. Николадзе окислительно-сорбционная обработка воды не является суммированием двух процессов, а приводит к повышению каталитических свойств угля, в результате чего улучшаются его сорбционные и технологические свойства.

Поскольку применяемые в водоподготовке окислители отличаются неодинаковой по отношению к химическим *загрязнениям* воды санитарно-гигиенической и технико-экономической эффективностью, важное значение имеет их выбор.

При наличии в воде легко окисляемых соединений (фенолы, вещества природного происхождения, вызывающие запахи и привкусы и др.) целесообразно применение хлора без предварительной аммонизации воды, которая, если это необходимо, может быть применена только после вторичного хлорирования. Если же в воде имеется небольшое количество трудно окисляемых веществ (нефть и нефтепродукты, органические пестициды, ПАВ, фосфорсодержащие и другие соединения), целесообразно применение озона, имеющего более высокий окислительно-восстановительный потенциал по сравнению с хлором. Иногда эффективность окисления возрастает при использовании нескольких окислителей, например, озона и хлора, хлора и перманганата калия.

Выбор окислителя, его дозы, места и последовательности ввода в начале технологической схемы перед фильтрами устанавливается пробной обработкой воды в лабораторных условиях. При этом должно учитываться целевое назначение окислителя, кинетика окисления примесей воды, время его деструкции, последующее влияние на активированный уголь, выполняющий функцию сорбента и катализатора процесса окисления веществ в фильтрах и т.д.

Технические решения использования окислительно-сорбционного метода водоподготовки зависят от качества обрабатываемой воды, состава и типов очистных сооружений.

Во всех случаях окислители вводятся в обрабатываемую воду до поступления ее в угольную загрузку, с таким расчетом, чтобы некоторое количество окислителя находилось в воде, поступающей в фильтр.

Угольные фильтры, предназначенные для очистки только от органических загрязнений, устраиваются после осветлительных фильтров. Если же они выполняют и осветлительную функцию, то в

этом случае располагаются после сооружений первой ступени и могут быть одно- (активный уголь) или двухслойными (активный уголь и кварцевый песок, дробленые антрацит или керамзит).

В технологических схемах с контактными осветлителями угольные фильтры располагаются после них или устраиваются контактные осветлители с двухслойной загрузкой (например, активный уголь и кварцевый песок). Первый вариант, несмотря на увеличение капитальных затрат на строительство очистных сооружений, предпочтителен, т.к. на угольную загрузку поступает осветленная вода, не происходит ее коагуляция, реже производится промывка фильтра и, следовательно, меньше истирание и измельчение угля. При этом срок службы активированного угля и эффективность сорбции органических соединений из воды увеличивается.

Применение угольной загрузки не вносит каких-либо существенных изменений в основные конструктивные элементы фильтровальных сооружений, и они могут выполняться в соответствии с общими нормативными указаниями (СНиП 2.04.02.-84).

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 обычного песка. 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 медленной отработке угля этот запас может потребоваться лишь для ежегодной загрузки угольных слоев, примерно в размере 10% рабочего слоя. При быстрой отработке угля может потребоваться запас на одновременную замену всего рабочего слоя.

При расчете сорбционной угольной загрузки следует учитывать, что ее высота в фильтре должна быть больше некоторой величины X_0 , обеспечивающей требуемый эффект очистки воды от химических загрязнений. Для расчета этой величины с некоторым приближением пользуются простейшей зависимостью

$$X_0 = v t,$$

где v - скорость фильтрования, равная 10-15 м/ч; t - время пребывания воды в угольной загрузке, необходимое для очистки, 10-15 мин.

Время t находят опытным путем, пропуская подлежащую очистке воду через фильтрованную колонку, загруженную применяемым активированным углем. Оно зависит от сорбционных свойств угля, концентрации и вида загрязнений, способов обработки воды

до ее поступления на угольный фильтр, вида применяемого окислителя и от других факторов. При совмещении в одном фильтровальном сооружении функций сорбции примесей из воды и очистки от механических загрязнений принимаемые параметры загрузки должны удовлетворять также требованиям процесса осветления. С целью уменьшения строительной высоты фильтров и увеличения высоты слоя загрузки при проектировании фильтровальных сооружений с угольной загрузкой следует учитывать возможность использования безгравийных распределительных систем.

Эффективная работа угля по отношению к химическим загрязнениям при окислительно-сорбционном методе водоподготовки может продолжаться длительное время (от года до двух лет) и во многом зависит от правильного подбора дозы, типа окислителя и от других условий, не определяемых заранее расчетами.

Поэтому в таких условиях не всегда экономически оправдана регенерация отработанного угля, особенно с учетом необходимости добавки примерно 10% свежего угля ежегодно до возмещения потерь на истирание, измельчение и унос при промывании.

Следует особое внимание обращать на эффективность осветления воды, подаваемой на угольные или угольно-песчаные фильтры. Поступающие с водой взвешенные вещества (особенно гидроксиды алюминия, железа и др.) образуют на поверхности угля плотную пленку, приводят к быстрой кольматации верхнего слоя загрузки и необходимости частых промывок, сокращению времени защитного действия фильтра и снижению его сорбционной емкости по отношению к органическим соединениям.

14.6. УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ ЯДОХИМИКАТОВ

Ядохимикаты, попадая в водоемы в основном со сточными водами, представляют большую опасность для здоровья людей, ухудшают органолептические показатели воды.

В качестве ядохимикатов в последние годы широко применяются пестициды: инсектициды, гербициды, акарициды, фунгициды и др. Несмотря на тщательное соблюдение зон санитарной охраны и условий использования в народном хозяйстве, они обнаружены в поверхностных водах многих водоемов.

Для очистки воды от ядохимикатов в настоящее время применяются окислительные, адсорбционные, физико-химические и биологические методы. Наиболее распространенными окислителями являются хлор и озон. В некоторых случаях используют перманганат калия и пероксид водорода.

В качестве сорбентов могут использоваться активированный

уголь (доза 15 мг/мг пестицида), коагулянты, ионообменные смолы.

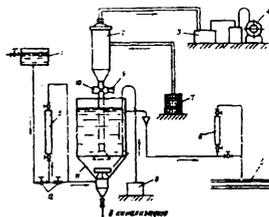
К физико-химическим методам удаления ядохимикатов относятся электрохимическая очистка, основанная на их анодном окислении, термическое окисление, основанное на интенсивном испарении жидкости в топочной камере, окислении и разложении загрязняющих ее примесей и др.

Биологические методы удаления ядохимикатов из воды основываются на способности некоторых микроорганизмов (бактерий активного ила, бактерий-нитрификаторов, грибов, простейших и др.) поглощать ядохимикаты, разлагая их до безвредных соединений.

Наиболее перспективным из рассмотренных методов является окислительно-адсорбционный, обеспечивающий очистку воды в широком диапазоне состава примесей.

Глава 15.

ФТОРИРОВАНИЕ И ОБЕСФТОРИВАНИЕ ВОДЫ



15.1. УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ НЕОБХОДИМОСТЬ ФТОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

Интерес к фтору начал проявляться с 1931 г., когда ученые независимо друг от друга доказали, что причиной заболеваний флюорозом является повышенное содержание фторид-ионов в питьевой воде. Одновременно было установлено также, что и недостаток их (т. е. содержание ниже $0,1-0,2 \text{ мг/дм}^3$) приводит к заболеванию кариесом. Эти данные позволили поставить вопрос о целесообразности искусственного обогащения хозяйственно-питьевой воды фтором при его недостатке и обезфторивании – при избытке.

Впервые воду начали фторировать в США в 1945 г., в настоящее время воду фторируют более чем в 30 странах мира.

Многолетний опыт фторирования воды в бывшем СССР дал положительные результаты, что позволило органам здравоохранения рекомендовать повсеместно применение этого способа на станциях водоподготовки. В 1965 г. были внесены изменения в действующий СНиП, в соответствии с которыми фторирование воды на водопроводах хозяйственно-питьевого назначения целесообразно в случаях, когда содержание фторид-ионов в источниках водоснабжения не достигает $0,5 \text{ мг/дм}^3$.

С 1968 г. контроль за фторированием воды на коммунальных водопроводах был возложен на органы контроля за фторированием санитарно-эпидемиологической службы контроля. В СНиПе 2.04.02.-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» предусмотрено фторирование.

XXII Всемирная ассамблея здравоохранения в 1969 г. признала фторирование воды важнейшим и эффективнейшим мероприятием по профилактике кариеса и рекомендовала его внедрение. Согласно статистическим данным, опубликованным в разных странах, этим заболеванием поражено до 80–98% населения.

Согласно СанПиН 10-124 РБ 99, концентрация в воде фторид-ионов не должна превышать $1,5 \text{ мг/дм}^3$.

Концентрация фторид-ионов в природных водах нашей планеты варьирует в широких пределах – от 0,01 до 50-100 мг/дм³ (Кения), в природных водах стран СНГ от 0,01 до 12 мг/дм³ (подземные воды Молдовы).

Низкие концентрации фторид-ионов встречаются в большинстве поверхностных источников водоснабжения. И лишь в открытых водоемах Казахстана концентрация фторид-ионов достигает 11, а в водоемах Азербайджана – 3,6 мг/дм³.

Подземные воды (артезианские, колодезные) богаче фторид-ионами, чем поверхностные, и среди них чаще встречаются источники с концентрацией фторид-ионов, превышающей предельно допустимую (1,5 мг/дм³). Однако и среди этих источников 67-97,6% в Республике Беларусь, 68-89% в России, 60-67% на Украине содержат менее 0,5 мг/дм³ фторид-ионов.

Свыше 85% воды в города стран СНГ подается из рек, причем содержание фторид-ионов в воде этих источников, превышающее 0,4 мг/дм³, встречается в редких случаях, да и это количество после обработки воды на очистных сооружениях снижается до предельно низкой величины.

15.2. ГИГИЕНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ СОДЕРЖАНИЯ ФТОРИД-ИОНОВ В ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

Исходя из данных экспериментальных исследований и материалов, полученных при изучении влияния воды с различной концентрацией фторид-ионов, Р.Д. Габович в 1952 г. предложил пользоваться следующей классификацией качества питьевой воды по содержанию фторид-ионов:

1) до 0,3 мг/дм³ – очень низкая концентрация фторид-ионов; пораженность населения кариесом в 3-4 раза выше, чем при оптимальной концентрации, флюороз в слабой форме наблюдается у 1-3% жителей; первоочередное профилактическое мероприятие – фторирование воды;

2) 0,3-0,7 мг/дм³ – низкая концентрация фторид-ионов; пораженность населения кариесом наблюдается в 1-3 раза чаще, чем у населения, употребляющего воду с оптимальной концентрацией фторид-ионов; флюороз в слабой форме бывает у 3-5% населения; необходимо фторирование воды;

3) 0,7-1,1 мг/дм³ – оптимальная концентрация фторид-ионов; пораженность населения кариесом близка к минимальной; развитие зубов и челюстей оптимальное; флюороз в слабой форме наблюдается не более чем у 3-10% населения; заболеваемость сердечно-сосудистыми и аллергическими заболеваниями ниже средней; эта

концентрация рекомендуется как норма при фторировании воды;

4) 1,1-1,5 мг/дм³ – повышенная, но допустимая концентрация фторид-ионов при отсутствии других источников водоснабжения; поражение населения кариесом минимальное, однако процент людей, болеющих флюорозом, возрастает до 15-20%; такая концентрация допустима в условиях умеренного климата;

5) 1,5-2,0 мг/дм³ – концентрация фторид-ионов выше предельно допустимой; заболеваемость населения флюорозом может достигать 30-40%; пораженность населения кариесом несколько выше минимальной; воду следует обесфторивать;

6) 2-6 мг/дм³ – высокая концентрация фторид-ионов; количество населения, пораженного флюорозом, составляет 30-100%, наблюдаются тяжелые формы; заболеваемость населения кариесом несколько больше минимальной; обесфторивание воды обязательно;

7) 6-15 мг/дм³ – очень высокая концентрация фторид-ионов; пораженность населения кариесом значительно больше минимальной; до 80-100% населения поражено флюорозом с превалированием тяжелых форм; обесфторивание воды обязательно.

15.3. ТЕХНОЛОГИЯ ФТОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

Целесообразность фторирования воды в каждом конкретном случае устанавливается органами санитарно-эпидемиологической службы. Показанием к фторированию воды является низкое содержание фторид-ионов в питьевой воде и значительная пораженность населения кариесом. В первую очередь фторируют воду, содержащую менее 0,3-0,5 мг/дм³ фторид-ионов.

В ряде зарубежных стран (Швейцарии, ФРГ и др.) для обогащения организма фтором используют таблетки, коровье молоко, варенную соль, чай, а также другие препараты и продукты, в которых содержится фторид натрия или другие фторсодержащие реагенты. Заболеваемость детей и взрослого населения кариесом при этом снижается. Практика показала, что индивидуальный прием препаратов и продуктов, содержащих фтор, является сложным мероприятием, требующим активного содействия родителей, поддержания у населения интереса к этому мероприятию, повседневных настойчивых усилий органов здравоохранения в течение многих лет. По сравнению с перечисленными методами фторирование воды требует меньших эксплуатационных затрат, позволяет охватить все население, дает наибольший и наиболее стабильный противокариесный эффект и легче контролируется.

Можно применять два метода фторирования воды: 1) кругло-

годовой – одной дозой; 2) сезонный – зимней и летней дозами. В первом случае в воду в течение всего года добавляют постоянную дозу фтора, соответствующую климатическому району, в котором расположен населенный пункт. При меняющейся по сезонам дозе в холодное время года, когда среднемесячная температура воздуха (в 13 ч) не превышает +17-18 °С, воду можно фторировать дозой 1 мг/дм³, а в теплое время, например, в июне-августе – меньшей дозой, зависящей от средней максимальной температуры (в 13 ч) за эти месяцы; например, при температуре +22-26 °С берут дозу 0,8, при +26-30 °С и более – 0,7 мг/дм³ фторид-ионов. Посезонный метод фторирования воды более приемлем.

По гигиеническим и технико-экономическим требованиям фторсодержащий реагент, предназначенный для фторирования питьевой воды, должен:

1) обладать высоким противокариесным действием при возможно меньшей потенциальной токсичности при передозировке;

2) не содержать ядовитых примесей (солей тяжелых металлов, мышьяка и др.);

3) иметь большую растворимость при температуре 0-25 °С;

4) быть безопасным для персонала (образовывать меньше пыли, не обладать выраженным местным действием);

5) не оказывать отрицательного влияния на другие процессы обработки воды;

6) обладать возможно меньшими коррозионными свойствами, не откладываться на стенках трубопроводов и аппаратуры;

7) быть доступным и недорогим.

Фторсодержащий реагент для фторирования воды выбирают в зависимости от конкретных условий, так как практически нет реагента, превосходящего другие по всем перечисленным свойствам.

Для фторирования воды можно использовать фториды натрия и кальция, кремнефториды натрия, аммония и магния, фтористоводородную и кремнефтористую кислоты, флюорель и др. СНИП 2.04.02-84 для фторирования воды рекомендуют применять кремнефториды натрия и аммония, фторид натрия и кремнефтористоводородную кислоту.

Кремнефторид натрия Na_2SiF_6 – белый негигроскопичный кристаллический порошок, является побочным продуктом суперфосфатного производства, отчего доступен и дешевле других. Кроме того, в техническом Na_2SiF_6 содержится больше основного вещества, чем в других реагентах (95-98%), этим и объясняется широкое его применение. Растворимость Na_2SiF_6 в воде плохая и резко уменьшается с понижением температуры; pH растворов кремнефторида натрия – 3,0-4,0.

Фторид натрия NaF – белый порошок или небольшие кристаллы, негигроскопичный, содержание основного вещества в техническом продукте не менее 80%. Реагент сравнительно хорошо растворим; обычно применяют 1-2%-е растворы, pH которых составляет 7,5-8,5. Приготовление концентрированных растворов фторида натрия на жесткой воде сопровождается образованием малорастворимых солей, оседающих в растворных баках и коммуникациях.

Кремнефторид аммония $(NH_4)_2SiF_6$ – кристаллическое вещество белого цвета с розоватым или желтоватым оттенком, без запаха. Содержание основного вещества в техническом продукте не менее 86%. При температуре 25 °С его растворимость составляет 187,5 г/дм³. Недостаток этого реагента – слеживаемость. Стоимость его ниже стоимости NaF.

Кремнефтористоводородная кислота H_2SiF_6 – обычно 20-35%-й водный раствор. Чаще является преимущественно побочным продуктом производства и содержит от 3 до 8% H_2SiF_6 , поэтому она имеет низкую стоимость. Это бесцветная, дымящая, с едким запахом жидкость, обладающая раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки, 1%-й водный раствор ее имеет pH=1,2. Испаряясь, кремнефтористоводородная кислота разлагается на фтористоводородную кислоту и тетрафторид кремния. При ее использовании нужно соблюдать особый режим и технику безопасности. Поэтому она применяется лишь на водопроводах, расположенных вблизи суперфосфатных заводов.

Фторид-дифторид аммония – смесь двух реагентов: кислой соли фторида аммония $NH_4F \cdot HF$ (73%) и фторида аммония NH_4F (19%); представляет собой мелкие, немного влажные кристаллы. Реагент не образует пыли, но сильно гигроскопичен, и поэтому на заводской таре необходимо точно указывать его массу. Растворимость кислой соли фторида аммония высокая.

При разработке индивидуального проекта или привязке типового проекта установки для фторирования питьевой воды после выбора реагента следует определить дозу фтора применительно к конкретным условиям.

Дозу фторсодержащего реагента D_ϕ определяют по формуле

$$D_\phi = 10^4 \frac{m_\phi a_\phi - F^-}{K C_\phi},$$

где m_ϕ – коэффициент, зависящий от места ввода фтора в обрабатываемую воду (при вводе фтора после очистных сооружений принимается равным 1, при вводе перед фильтрами или контактными осветлителями – 1,1); a_ϕ – необходимое содержание фтора в обра-

батываемой воде в зависимости от климатических и сезонных условий (принимается равным 0,7-1,5 г/м³, меньшие значения – для летнего сезона и жаркого климата); F^- – содержание фторид-ионов в исходной воде, г/м³; K – содержание фтора в чистом реагенте (принимается для кремнефторида натрия 61, для фторида натрия – 45, для кремнефторида аммония – 64%; для кремнефтористоводородной кислоты – 79); C_{ϕ} – содержание чистого реагента в техническом продукте, %.

Чтобы избежать потерь реагентов на образование осадков, фторсодержащие реагенты рекомендуется растворять в воде, умягченной Na-катионированием, поскольку при большом содержании в воде кальция и магния часть фтора осаждается в виде фторидов или кремнефторидов кальция и магния.

Кратковременные колебания концентрации фтора в водопроводной воде не должны превышать $\pm 0,1$ мг/дм³, а среднемесячные $\pm 0,05$ мг/дм³ от установленной дозы. В связи с этим дозирующая установка должна быть точной, надежной, простой и удобной в эксплуатации.

На водопроводах, в которых вода не обрабатывается коагулянтами, например на артезианских, реагент можно вводить во всасывающую трубу центробежных насосов, а также в резервуар для хранения воды в том месте, где в него поступает вода. На речных водопроводах предпочтительно вводить фторсодержащие реагенты в воду, прошедшую коагуляцию, отстаивание и фильтрование, в трубопроводы, соединяющие фильтр и резервуар чистой воды, или непосредственно в резервуар. Если фторсодержащие реагенты содержат повышенные количества нерастворимых примесей, которые следует удалить из фторируемой воды, реагент можно вводить и до фильтрования. Если условия вынуждают вводить реагент в обрабатываемую воду до или совместно с коагулянтом (для улучшения растворимости реагента), необходимо, учитывая потери, добавлять избыток фторидов. Во всех случаях умягчения или обезжелезивания фторсодержащие реагенты следует вносить в воду после завершения этих процессов. Фторсодержащие реагенты, не содержащие аммония, на обеззараживание воды хлором отрицательного влияния не оказывают.

15.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ФТОРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

В настоящее время в странах СНГ и за рубежом для фторирования воды запроектированы и построены фтораторные установки различных типов малой и большой производительности. Все уста-

новки по технологии приготовления растворов фторсодержащих реагентов можно разделить на фтораторные установки: сатураторного типа; с растворными баками; с растворно-расходными баками; с применением кремнефтористоводородной кислоты.

Выбор схемы фторирования воды определяется в основном производительностью водопроводной станции, свойствами применяемого фторсодержащего реагента, экономическими соображениями.

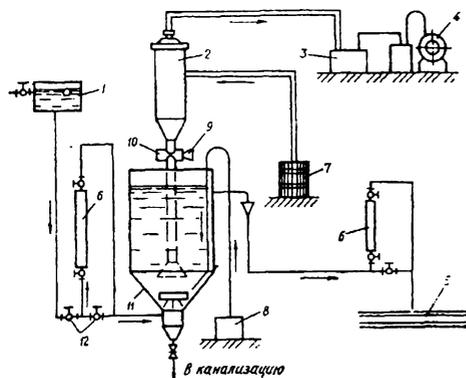


Рис. 15.1. Схема фторирования воды кремнефторидом натрия:

- 1 - бак постоянного уровня; 2 - вакуум-бункер;
3 - фильтр; 4 - вакуум-насос; 5 - ввод раствора фтор-реагента; 6 - ротаметр; 7 - тара с реагентом; 8 - компрессор; 9 - штурвал для регулировки количества загрузки реагента; 10 - секторный питатель; 11 - сатуратор;

Схема фтораторной установки сатураторного типа представлена на рис. 15.1. Ее используют в случае применения малорастворимого кремнефторида натрия.

Вода подается в сатуратор и проходит через слой находящегося здесь реагента.

Пневмотранспортом под вакуумом реагент один раз в 5-7 сут. загружается в сатуратор. Вакуумная система состоит из вакуум-бункера, фильтра, вакуум-насоса и трубопро-

водов для подачи реагента и выпуска воздуха. Порошок Na_2SiF_6 в вакуум-бункере оседает вниз. Для предотвращения выноса частичек порошка в атмосферу при работе пневмотранспорта предусмотрен фильтр. Реагент из вакуум-бункера через секторный питатель загружается в сатуратор, где готовится насыщенный раствор Na_2SiF_6 . От системы внутреннего водопровода вода через регулирующий вентиль попадает в нижнюю часть сатуратора и вытесняет образовавшийся в нем раствор, близкий к насыщенному. Для стабилизации расхода реагента вода поступает в сатуратор через бак постоянного уровня. Регулирующий вентиль автоматически поддерживает количество подающейся в сатуратор воды. Насыщенный раствор Na_2SiF_6 через сборную систему из перфорированных труб подводится к месту дозировки. Отвод насыщенного раствора из сатуратора и количество поступающей в сатуратор воды контролируются ротаметром.

Для обеспечения полного использования порошка Na_2SiF_6 в сатураторе предусмотрен барботаж компрессором.

Производительность сатуратора q_c (по насыщенному раствору реагента) определяют по формуле

$$q_c = \frac{D_{\text{ф}} Q}{n p},$$

где Q – расход обрабатываемой воды, м³/ч; n – количество сатураторов, шт.; p – растворимость Na_2SiF_6 (при 0 °С составляет 4,3; при 20 °С – 7,3; при 40 °С – 10,3 г/дм³).

При определении объема сатураторов длительность пребывания в них раствора принимается не менее 5 ч, скорость восходящего потока воды в сатураторе – не более 0,1 мм/с.

Общая схема автоматического дозирования фторсодержащего

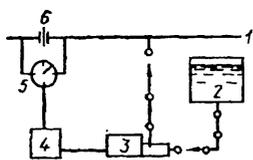


Рис. 15.2. Схема автоматического дозирования раствора фторидов:

- 1 – трубопровод; 2 – бак с раствором реагента; 3 – насос-дозатор; 4 – реле; 5 – запорное устройство; 6 – расходомер.

реагента в зависимости от колебаний расхода воды (рис. 15.2) состоит из: расположенного в водопроводе чувствительного датчика, определяющего расход воды, или прибора, непрерывно определяющего концентрацию фтора во фторированной воде; системы, передающей сигнал о необходимости изменения количества подаваемого фторсодержащего реагента; устройств, изменяющих расход реагента; дозатора (например, дозирующего насоса).

Наилучшим видом дозирования следует считать автоматическое дозирование в зависимости от концентрации фтора во фторированной воде.

Строительство фтораторных установок сатураторного типа целесообразно для станций производительностью до 50 тыс. м³/сут, так как они сравнительно компактны и позволяют обеспечить дозирование даже без средств автоматизации. В настоящее время большинство фтораторных установок, внедренных на территории стран СНГ, сатураторного типа.

На мощных станциях применяют фтораторные установки с приготовлением фторсодержащего реагента в растворных баках, являющиеся наиболее универсальными и работающие на любом фторсодержащем реагенте. Схема такой действующей в г. Карл-Маркс-Штадте фтораторной установки, являющейся одной из крупнейших и наиболее совершенной установкой в Европе, приведена на рис. 15.3.

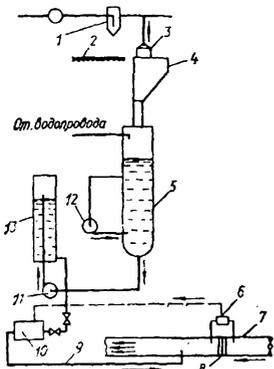


Рис. 15.3. Схема фтораторной установки с растворными баками:

1 – циклон; 2 – конвейер; 3 – зонт вытяжной вентиляции; 4 – питающий бункер; 5 – растворный бак; 6 – регистратор; 7 – магистральный трубопровод; 8 – измерительная диафрагма; 9 – трубопровод подачи готового раствора; 10 – насос-дозатор; 11 – центробежный насос; 12 – циркуляционный насос; 13 – расходный бак.

Кремнефторид натрия по конвейеру 2 поступает в питающий бункер 4, рассчитанный на хранение 15-суточного запаса реагента, откуда винтовым конвейером подается в установленную на весах емкость, в которую и дозируется для получения 0,45%-го раствора. Затем реагент поступает в растворный бак 5, где растворяется в 10 м³ водопроводной воды. В результате интенсивного перемешивания раствора в баке насосом 12 и барботированием воздуха через 3-4 ч достигается полное растворение реагента. Приготовленный 0,45%-й раствор Na_2SiF_6 насосом 11 перекачивается в расходный

бак 13, из которого насосом-дозатором 10 подается по трубопроводу 9 в магистральный трубопровод 7 для смешения с обрабатываемой водой, направляющейся на фильтры.

Раствор реагента дозируется автоматически. Для этого в магистральный трубопровод вмонтирована специальная измерительная диафрагма 8. С увеличением или уменьшением расхода воды изменяется разность давлений до и после диафрагмы. Эти изменения регистрирует специальный прибор 6 с пьезоэлементами и трансформирует их в электрическую энергию, подаваемую по усиливающей схеме датчиком импульсов к дозирующему насосу 10. С увеличением расхода воды возрастают разность давлений, число импульсов тока, количество ходов поршня насоса 2, следовательно, и расход раствора, подаваемого насосом в магистральный трубопровод. С уменьшением расхода воды расход подаваемого раствора реагента уменьшается. Предусмотрено также ручное регулирование количества подаваемого насосом раствора.

Для предотвращения коррозии резервуар 5 изготовлен из бетона, его внутренние стенки штукатурят кислотоупорным цементом. Циркуляционный насос 12 изготовлен из кислотоупорного материала.

Для более полного смешения воды с раствором реагента его вводят перед резервуаром чистой воды или во всасывающий трубо-

провод насосов второго подъема.

Концентрацию раствора реагента для приготовления ненасыщенных растворов в расходных баках принимают: для кремнефторида натрия – 0,25% при температуре раствора 0 °С и до 0,5% при 25 °С, для фторида натрия – 2,5% при 0 °С; для кремнефторида аммония – 7% при 0 °С, для кремнефтористоводородной кислоты – 5% при 0 °С.

Интенсивность подачи воздуха для перемешивания раствора принимают равной 8-10 л/(с·м²). Растворы фторсодержащих реагентов отстаивают в течение 2 ч.

При использовании в качестве реагентов кремнефторидов натрия и аммония следует предусмотреть мероприятия против коррозии баков, трубопроводов и дозаторов.

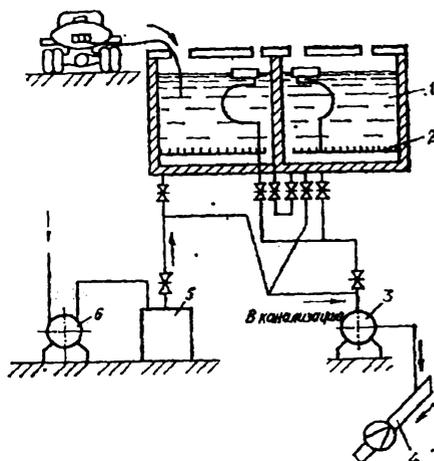


Рис. 15.4. Схема фторирования воды кремнефтористоводородной кислотой: 1 – баки-хранилища; 2 – барботаж сжатым воздухом; 3 – насос-дозатор; 4 – ввод реагента; 5 – воздуходувка; 6 – компрессор.

В состав фтораторных установок с растворно-расходными баками входят растворный и расходный баки, оборудованные мешалками, системами для подачи воздуха или гидравлического перемешивания раствора, дозировочные устройства. На некоторых станциях применяют готовый раствор фторсодержащего реагента, например, кремнефтористоводородную кислоту, доводя ее концентрацию до расчетной. На рис. 15.4 приведена схема фтораторной установки с использованием кремнефтористоводородной кислоты. Кислота из автоцистерны самотеком поступает в баки-хранилища. Концентрация различных партий кислоты может быть неодинаковой, поэтому предусмотрена возможность разбавления до 5%-й концентрации и перемешивания реагента посредством барботажа сжатым воздухом от воздуходувки. Насос-дозатор, изготовленный из кислотоупорного материала, дозирует ее из баков-хранилищ пропорционально расходу обрабатываемой воды. Реагент транспортируется к месту ввода по полиэтиленовым трубам.

При большой производительности станций соответственно

увеличивается число и емкость баков-хранилищ, количество насосов-дозаторов и т. д. По сравнению с технологией фторирования воды твердыми соединениями фтора при обработке воды кремнефтористоводородной кислотой не требуется дорогостоящее оборудование, необходимое для растворения фторсодержащих соединений; кроме того, отпадает необходимость в установках, предназначенных для улавливания токсической пыли, неизбежной при использовании порошкообразных реагентов. Фактором, ограничивающим применение этой кислоты, является высокая стоимость ее транспортирования от завода-поставщика к месту потребления (требуется гуммированные цистерны).

Трубопроводы и арматура выполняются из фторопласта, полиэтилена, винилпласта и других кислотоупорных материалов.

Процесс фторирования воды требует постоянного строгого контроля.

Прежде всего контролируется качество фторсодержащих реагентов. Из каждой партии реагента отбирается средняя проба, в которой определяют содержание чистого продукта, свободной угольной кислоты, нерастворимых примесей, влажность.

С целью предотвращения поступления в питьевую воду избытка фторид-ионов следует тщательно контролировать точность дозирования реагента (по концентрации и расходу фторсодержащих реагентов и по концентрации фторид-ионов в обработанной воде).

Установленная экспериментально доза фтора контролируется фотоэлектроколориметром ФЭК не реже 2 раз в смену (реакция с ализаринциркониевым лаком); для этой же цели используются анализатор с фторселективными электродами.

Установки для фторирования необходимо оборудовать водомерами, а дозатор реагента должен легко регулироваться с тем, чтобы отклонения фактической дозы реагента от расчетной не превышали $\pm 5\%$. Производительность дозирующих устройств и расход обрабатываемой воды контролируют через каждый час, результаты замеров записывают в журнал. Регистрируют также время начала и окончания использования раствора в рабочем баке. Одновременно отбирают пробы рабочего раствора для определения концентрации фтора.

Вода из распределительной сети анализируется 2-4 раза в сутки. Пробы отбираются в разных местах в разное время суток. Обязательным условием является смена мест отбора и анализ хотя бы одной пробы, отобранной в утренние часы.

Текущий санитарный надзор за фторированием кроме перечисленных мероприятий включает строгий контроль за хранением и расходованием фторсодержащих реагентов, контроль за осуществ-

лением мероприятий по охране труда лиц, работающих с этими веществами.

При фторировании воды необходимо строго соблюдать мероприятия по охране труда и технике безопасности. Содержание фторсодержащих соединений в воздухе производственных помещений не должно превышать 1 мг/м^3 , поэтому в помещениях следует обеспечить вентиляцию с 10-12-кратным обменом воздуха, а также местные отсосы в местах образования пыли. Установку для фторирования и склад для реагентов необходимо изолировать от других служебных помещений. Все технологические операции надежно герметизируются во избежание попадания пыли реагентов в воздух. Транспортирование фторсодержащих реагентов во избежание контакта с ними персонала механизмируют. В рабочих помещениях фтораторной необходимо поддерживать температуру не ниже $10 \text{ }^\circ\text{C}$ при ручном дозировании и не ниже $5 \text{ }^\circ\text{C}$ – при автоматическом.

Учитывая токсические свойства фторсодержащих препаратов, кроме общих мероприятий по охране труда, следует обеспечить обслуживающий персонал индивидуальными средствами защиты: респираторами, защитной одеждой, резиновыми перчатками, защитными очками, сапогами, шлемами для защиты головы от пыли и др.; после работы обслуживающий персонал должен принять душ.

15.5. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОБЕСФТОРИВАНИЯ ВОДЫ И ИХ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

При избыточном содержании в питьевой воде фторид-ионов, кроме флюороза, у людей развиваются изменения в костях скелета, а у детей – малокровие и рахит. Имеются данные о неблагоприятном влиянии повышенных концентраций фторид-ионов на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и общее физическое состояние.

В тех районах, где питьевая вода бедна йодом, повышенное содержание в ней фторид-ионов может вызвать заболевание щитовидной железы (фтор вытесняет из тканей щитовидной железы йод). Неблагоприятно действует вода и с низким содержанием фторид-ионов.

Из изложенного следует, что оптимальной дозой фторид-ионов в воде следует считать $0,7-1,5 \text{ мг/дм}^3$. При содержании в воде более $1,5 \text{ мг/дм}^3$ фторид-ионов ее необходимо обезфторивать, хотя это и довольно сложная задача. До сих пор не разработаны простые и дешевые методы удаления из воды избытка фторид-ионов. Обычные методы осаждения фторид-ионов в виде осадков малорастворимых фторидов для обезфторивания питьевой воды не могут быть

применены, так как растворимость наименее растворимых фторидов во много раз превышает допустимую концентрацию фторид-ионов в питьевой воде.

В настоящее время воду обезфторивают методами ионного обмена на селективных в отношении фтора ионитах: активированном оксиде алюминия, гидроксилпатите, сильноосновных анионитах, а также на специально обработанных активированном угле и оксиде магния. Применяют также методы сорбции фторид-ионов свежесажденными фосфатом кальция, гидроксидами магния и алюминия.

Для подземных вод, не требующих осветления перед подачей в сеть, наиболее перспективными и экономичными могут быть ионообменные методы обезфторивания, для поверхностных вод, осветляемых перед подачей в сеть, – сорбционные, в частности сорбция фтора осадками основного хлорида алюминия или гидроксида алюминия в толще фильтрующей загрузки.

15.6. ИОНООБМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБЕЗФТОРИВАНИЯ ВОДЫ

Наиболее эффективно фторид-ионы из подземных вод удаляются зернистым активированным оксидом алюминия (сорбентом). Он действует как анионит, обменивающий ионы SO_4^{2-} на ионы F^- по реакции



В ионообмене одновременно участвуют гидрокарбонат-ионы и незначительно – ионы хлора



Активированный оксид алюминия обладает селективным действием по отношению к фторид-ионам, поэтому преимущественно поглощает их, хотя концентрация ионов HCO_3^- в воде значительно больше.

При проектировании обезфторивающих установок следует учитывать, что регенерируют активированный оксид алюминия сульфатом алюминия и в очищенную воду поступает большое количество сульфатов, содержание которых в питьевой воде в соответствии с СанПиНом 10-124 РБ 99 не должно превышать 500 мг/дм^3 .

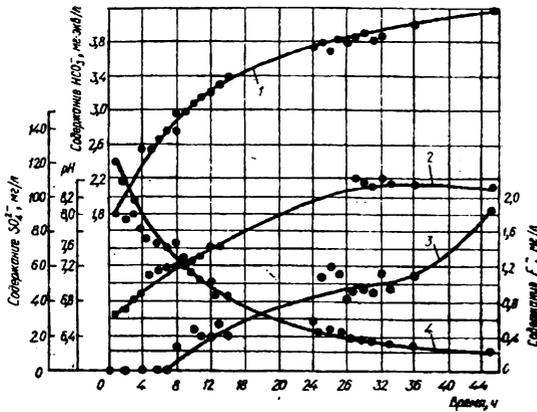


Рис. 15.5. Изменение pH, [F], [HCO₃⁻], (щелочности) и [SO₄²⁻] в течение фильтроцикла: 1-4 — соответственно щелочность, pH, содержание [F], и [SO₄²⁻] в фильтрате (эти показатели в исходной воде соответственно равны: Щ = 4 мг-экв/дм³, pH = 8, [F] = 3 мг/дм³, [SO₄²⁻] = 5 мг/дм³).

Содержание взвешенных веществ в воде, поступающей на фильтры, загруженные активированным оксидом алюминия, не должно превышать 8 мг/дм³, общее количество солей — не более 1 000 мг/дм³.

Показатели качества воды в процессе обезфторивания изменяются (рис. 15.5). В начале фильтроцикла щелоч-

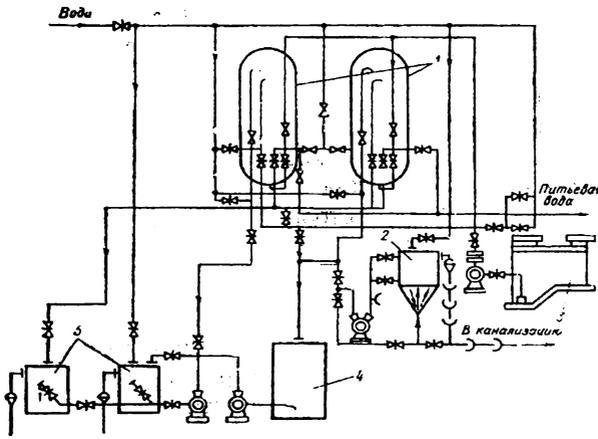


Рис. 15.6. Схема установки для обезфторивания воды:

- 1 — H-катионитовые фильтры; 2 — бак для приготовления 8-10 %-го раствора Al₂(SO₄)₃; 3 — резервуар для повторного использования воды при взрыхлении загрузки; 4 — бак для хранения осветленного концентрированного раствора Al₂(SO₄)₃; 5 — баки для приготовления 1-1.5%-го раствора Al₂(SO₄)₃.

ность снижается с 4 до 2 мг-экв, а к концу постоянно возрастает до исходного значения. Концентрация сульфат-ионов, наоборот, в начале фильтроцикла повышается в среднем на 2-2,4 мг-экв, а затем с ростом

концентрации гидрокарбонат-ионов постепенно снижается. Содержание ионов хлора, кальция и магния в воде не изменяется.

Схема установки для обесфторивания артезианской воды, используемой для хозяйственно-питьевого водоснабжения, приведена на рис. 15.6.

При высоте слоя загрузки в фильтре 2 м и скорости фильтрования 5 м/ч длительность фильтроцикла составляет 8 сут. Содержание фторидов в воде снижается с 3,1 до 0,2 мг/дм³ и лишь на восьмые сутки возрастает до 1,5 мг/дм³. Рабочая обменная емкость составляет 1,95 кг F₂/т активированного оксида алюминия.

Для обесфторивания воды можно использовать фильтры (открытые или напорные) с трубчатым дренажем и нарезными щелями, выполненными из коррозионностойких материалов (нержавеющая сталь, винипласт и др.) или с дренажем из щелевых колпачков (например, фарфоровых).

Воду через фильтры пропускают со скоростью 6 м/ч при нормальном режиме и не более 8 м/ч – при форсированном.

Равномерную работу дренажа обеспечивают укладкой на него слоя кварцевого песка с крупностью зерен 2-4 мм высотой 100-150 мм и активированного оксида алюминия с крупностью зерен 1-3 мм.

Высоту слоя активированного оксида алюминия принимают: 2 м в напорных и открытых фильтрах при содержании фторид-ионов в исходной воде до 5 мг/дм³ и соответственно 3 и 2,5 м при содержании их 8-10 мг/дм³. Внутреннюю поверхность напорных фильтров для предотвращения коррозии покрывают лаком. Открытые железобетонные фильтры штукатурят кислотоупорным цементом или облицовывают метлахской плиткой.

Продолжительность фильтроцикла T определяют по формуле

$$T = \frac{FHE}{q(C_0 - \frac{C_K}{3})}$$

где F – площадь фильтра, м²; H – высота слоя сорбента, м; E – рабочая обменная емкость сорбента по фтору (принимается равной 900-1000 г/м³ сорбента); q – производительность фильтра, м³/ч; C_0 – содержание фторидов в исходной воде, г/м³; C_K – содержание фтора в фильтрате в конце цикла (принимается равным 1,5 г/м³).

Загрузку фильтра перед регенерацией взрыхляют последней четвертью отмывочной воды после регенерации сорбента, пропуская ее снизу вверх с интенсивностью 4-5 л/(с·м²) в течение 15-20 мин. Для хранения отмывочной воды предусмотрен резервуар.

Регенерируют сорбент 1-1,5%-м раствором сульфата алюминия, который получают из 10-17%-го раствора, приготовляемого в

растворных баках, смешением с водой в эжекторах перед подачей в фильтры. Скорость регенерации принимают равной 2-2,5 м/ч. Первые порции регенерационного раствора выпускают, последнюю порцию (25% общего количества раствора) – повторно используют для регенерации сорбента. Начинают регенерацию использованным ранее раствором.

Отмывают сорбент после регенерации током исходной воды снизу вверх с интенсивностью 4-5 л/(с·м²), принимая расход воды 10 м³/м³ сорбента. Отмывку заканчивают, когда в отмывочной воде определяются лишь следы алюминия.

Расход сульфата алюминия на одну регенерацию P определяют по формуле

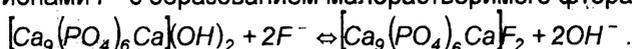
$$P = qD_K \frac{C_o - C_K}{10b},$$

где q – производительность фильтра за один фильтроцикл, м³; D_K – доза сульфата алюминия, г/г поглощенного фтора (принимается равной 40-50 г/г); b – содержание чистого $Al_2(SO_4)_3$ в техническом продукте, %.

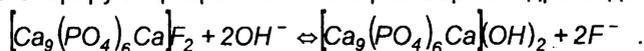
Рабочую обменную емкость поглощения фтора $E_{раб}^{F^-}$ активированным оксидом алюминия приблизительно рассчитывают по формуле

$$E_{раб}^{F^-} = \frac{q(C_o - C_K)}{FH}.$$

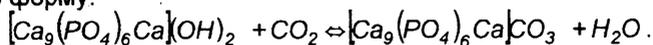
Воду также обесфторивают фосфатами: гидроксилпатитом, трикальцийфосфатом, гранулированным суперфосфатом и др. Наиболее полно исследован метод обесфторивания воды гидроксилпатитом. По мнению ряда исследователей, этот реагент действует как анионит, ионы OH^- которого замещаются в процессе анионного обмена ионами F^- с образованием малорастворимого фторапатита:



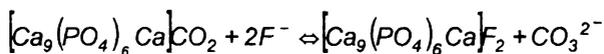
Регенерируют фторапатит 1%-м раствором гидроксида натрия:



При регенерации фторапатита сначала гидроксидом натрия, а затем угольной кислотой его обменная емкость повышается. Предполагают, что при такой обработке фторапатит переходит в карбонатную форму:

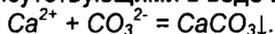


Процесс ионообмена при фильтровании воды через этот материал протекает так:



Обменная емкость апатита в карбонатной форме большая, чем гидроксилapatита. Это связано с тем, что при переходе в фильтрат ионов CO_3^{2-} pH фильтрата повышается меньше, чем при поступлении в него эквивалентного количества ионов OH^- .

При фильтровании воды через гидроксилapatит изменяются показатели качества воды, поскольку в процессе ионообмена увеличивается концентрация ионов OH^- и, следовательно, гидратная щелочность фильтрата. В результате взаимодействия ионов OH^- с содержащимися в воде ионами HCO_3^- образуются ионы CO_3^{2-} , которые соединяются с присутствующими в воде ионами Ca^{2+}



Осадок карбоната кальция задерживается в фильтрующей загрузке. Таким образом, щелочность и концентрация ионов кальция в обработанной воде снижаются.

Рабочая обменная емкость гидроксилapatита при фильтровании через него воды, содержащей 5-6 мг/дм³ фторидов, получается наиболее высокой в первых циклах – 6 мг F₂/г сорбента. В последующих циклах она несколько снижается и после 4-5 циклов стабилизируется на уровне 3,5-4 мг F₂/г сорбента.

Некоторое уменьшение рабочей обменной емкости гидроксилapatита наблюдается при большом содержании в исходной воде хлоридов. Например, при содержании в исходной воде хлорид-ионов 6 мг/дм³ рабочая емкость поглощения сорбента по фторид-ионам составляет 4,18 мг/дм³, а при их содержании 115 мг/дм³ – 3,4 мг/дм³.

Для обесфторивания воды рекомендуется применять гранулированный гидроксилapatит с крупностью зерен 1-3 мм при высоте слоя загрузки 2-3 м (плотность сорбента – 800 кг/м³). Скорости фильтрования и регенерации должны составлять 5 м/ч. Расход гидроксилapatита при регенерации 1%-м раствором NaOH составляет 100 кг/кг поглощенного фтора. Отмывку сорбента после регенерации производят исходной водой снизу вверх с интенсивностью 7-8 л/(с·м²) в течение 30-45 мин.

Изучение возможности обесфторивания воды сильно- и слабоосновными анионитами Ан-2Ф, ЭДЭ-10П, «Амберлайт» и другими показало, что его нельзя рекомендовать как самостоятельный метод по экономическим соображениям. Аниониты целесообразно использовать для удаления фторидов только при одновременном обессоливании воды.

Сточные воды после регенерации и отмывки загрузки фильтра имеют pH=4-5, содержат фтор и сульфат алюминия, поэтому в каж-

дом конкретном случае вопрос возможности спуска сточных вод в водоемы необходимо согласовывать с органами санитарно-эпидемиологической службы. Если спуск сточных вод в водоемы недопустим, их очищают в резервуарах-накопителях (балки, трубы, искусственные емкости) или нейтрализуют известью до $pH=7,2-7,5$ с последующим отстаиванием взвеси $Al(OH)_3$ и сорбированного фтора в отстойниках. Затем осевшую взвесь обезвоживают на специальных площадках намораживания или отводят в накопители. Воду после отстаивания и уплотнения замороженного осадка можно спускать в водоем.

Поскольку содержание фтора в фильтрате в течение фильтроцикла изменяется, для поддержания концентрации фтора в подготовленной воде в оптимальных пределах в фильтрат необходимо постоянно добавлять исходную воду. Количество воды для добавления q_d зависит от содержания фтора в фильтрате; его можно определить (в процентах от общего расхода очищенной воды) по формуле

$$q_d = \frac{C_{смеш} - C_{ф}}{C_{исх} - C_{ф}} \cdot 100,$$

где $C_{смеш}$ – оптимальная концентрация фтора в смешанной воде, $мг/дм^3$; $C_{ф}$ – концентрация фтора в фильтрате, $мг/дм^3$; $C_{исх}$ – содержание фтора в исходной воде, $мг/дм^3$.

Обесфторивание воды активированным углем марок «БАУ», «КАД», а также активированным углем СКТ, насыщенным солями алюминия, оказывает положительное влияние только при подкислении воды до $pH=3-3,5$. Существенным недостатком метода является невозможность полного восстановления сорбционной емкости угля при регенерации.

Магнийоксихлоридные и магнийсиликатные сорбенты, представляющие собой оксид магния, цементированный оксихлоридом или силикатом магния, удовлетворительно удаляют фториды из воды. Например, рабочая обменная емкость магнийоксихлорида составляет $0,9$ $мг F_2/г$ сорбента. Однако обменная емкость сорбентов при регенерации полностью не восстанавливается. Сорбент по истечении его сорбционной емкости необходимо заменять свежим, что значительно удорожает процесс обесфторивания. Однократное применение магнийсодержащих сорбентов неэкономично, что ограничивает широкое применение данного метода в водоподготовке.

15.7. СОРБЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБЕСФТОРИВАНИЯ ВОДЫ

При необходимости одновременного умягчения воды фториды из воды целесообразно удалять сорбцией свежесажженным гидроксидом магния. Исследования показывают, что сорбция фторидов в этом случае протекает быстро и практически не зависит от температуры. Например, при содержании фторидов в воде 4-5 мг/дм³ оптимальные значения достигаются при длительности процесса 8-10 мин.

Образующийся в результате взаимодействия фторид магния при избытке магния превращается в осадок оксифторида магния.

Обесфториваемую воду рекомендуется пропускать через осветлитель со слоем взвешенной контактной среды, образуемой гидроксидом магния. Его расход составляет около 2 мг-экв/мг удаляемых из воды фторид-ионов.

При небольшом содержании в воде солей магния для удаления фторидов рассматриваемым методом вместе с известью следует вводить сульфат или хлорид магния. Дозу соли магния D_c определяют по формуле

$$D_c = e \{2([F^-] - 1) - [Mg]\},$$

где e – эквивалентная масса соли магния (для $MgCl_2$ $e = 47,7$, для $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ – 101,65, для $MgSO_4$ – 60,2, для $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 123,25), мг/мг-экв; 2 – расход солей магния на удаление 1 мг фторид-ионов, мг-экв; $[F^-]$ – концентрация фторид-ионов в обрабатываемой воде, мг/дм³; $[Mg]$ – содержание магния в воде, мг-экв/дм³.

Дозу извести D_u необходимую для осаждения гидроксида магния, рассчитывают по формулам

$$D_u = 28 \left[\frac{[CO_2]}{22} + 2[Mg^{2+}] + \mathcal{U} + 1 \right] \quad (\text{при } [Ca^{2+}] > \mathcal{U});$$

$$D_u = 28 \left[\frac{[CO_2]}{22} + [Ca^{2+}] + 2[Mg^{2+}] + 1 \right] \quad (\text{при } [Ca^{2+}] < \mathcal{U}),$$

где $[Ca^{2+}]$ – содержание в воде кальция, мг/дм³; \mathcal{U} – общая щелочность воды, мг-экв/дм³; 28 – эквивалентная масса CaO, мг/дм³; $[CO_2]$ – содержание CO₂ в воде, мг/дм³; $[Mg^{2+}]$ – содержание магния в обработанной воде, мг/дм³; 1 – необходимый избыток извести, мг-экв/дм³.

Схема установки для обесфторивания воды свежесажженным гидроксидом магния приведена на рис. 15.7. Из вихревого реактора 1, где исходная вода смешивается с известковым молоком, она направляется в осветлитель 2, перед которым вводится раствор хлорида или сульфата магния. Осадок гидроксида магния отводится в осадкоуплотнитель, а затем спускается в водосток. Осветленная вода проходит через фильтры 3 в резервуары чистой воды 4, откуда

насосами 5 подается потребителю.

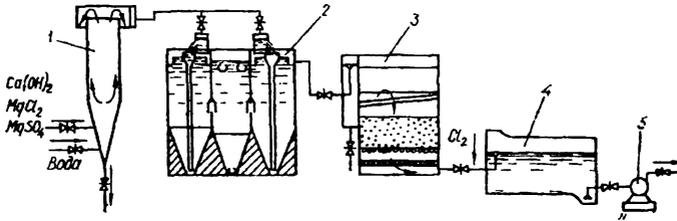


Рис. 15.7. Схема установки для обесфторивания воды сорбцией гидроксидом магния

С целью предотвращения накапливания отложений карбоната кальция в осветлителях при удалении фторид-ионов из воды осаждением гидроксидом магния их рекомендуется устраивать с коническими или пирамидальными днищами; а распределение воды производить опускными трубами. Высоту слоя осадка принимают равной не менее 2 м, скорость восходящего потока воды в зоне осветления – 0,2-0,3 мм/с.

Возможное накапливание осадка карбоната кальция в верхнем слое загрузки фильтров устраняют системой верхней промывки.

При обесфторивании воды гидроксидом алюминия в воду вводят сульфат алюминия, в результате гидролиза которого образуется коллоидный гидроксид $Al(OH)_3$, сорбирующий фторид-ионы.

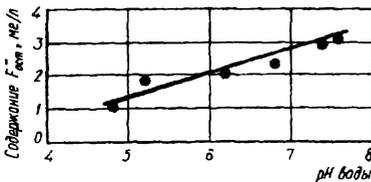


Рис. 15.8. Зависимость остаточного содержания $[F^-]$ от pH воды (доза $Al_2(SO_4)_3$ 200 мг/дм³, начальное содержание $[F^-]$ в воде – 5,6 мг/дм³).

Сорбция фторид-ионов из воды гидроксидом алюминия в большой мере зависит от pH воды (рис. 15.8).

Снижение значения pH от 8 до 5 при одинаковой дозе введенного в воду сульфата алюминия повышает эффект удаления из воды фторид-ионов, что

можно объяснить, вероятно, возрастанием содержания основного сульфата алюминия $Al(OH)SO_4$, уменьшением pH воды, сорбционная емкость которого по сравнению с гидроксидом алюминия значительно выше. Это свидетельствует о том, что удаление фторид-ионов целесообразно вести при pH=5-5,5. Расход сульфата алюминия на снижение содержания фторид-ионов с 5 до 1 мг/дм³ при этих значениях pH составляет 40-50 мг/мг удаленных из воды фторид-ионов (рис. 15.9).

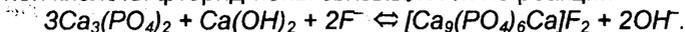
Из-за больших расходов сульфата алюминия, кислоты и извести, а также необходимости точного дозирования реагентов такой метод является сложным и невыгодным в эксплуатации.

Для обесфторивания воды может применяться основной хлорид алюминия $Al_2(O_2OH)Cl$, образующий осадок основных солей алюминия

в довольно широком диапазоне значений pH и обладающий высокой сорбционной емкостью. В качестве сооружений для обработки воды этим реагентом рекомендуется применять контактные осветлители. Предварительного подкисления воды не требуется. При введении 6-8 мг/дм³ основного хлорида алюминия (в пересчете на Al_2O_3) хорошо коагулируются примеси воды и удаляется от 1 до 2 мг/дм³ фторид-ионов.

В НИИ ВОДГЕО разработан метод обесфторивания воды свежесоажденным трикальцийфосфатом.

При введении в известковую воду 1%-го раствора ортофосфорной кислоты фторид-ионы связываются по реакции



Расход трикальцийфосфата составляет 30 мг/мг удаленных из воды фторид-ионов.

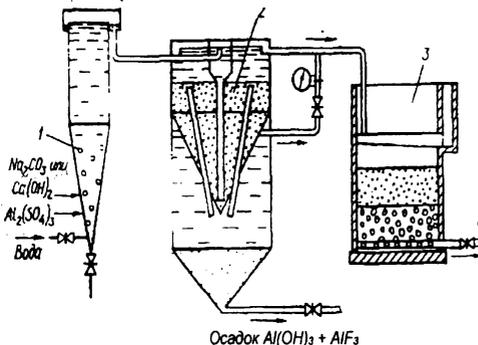


Рис. 15.10. Схема установки для фторирования воды сорбцией $Al(OH)_3$

среды 2. Скорость восходящего потока воды в нем во избежание выноса легкого осадка трикальцийфосфата принимают не более 0,6-0,7 мм/с. Мелкие хлопья, выносимые потоком воды из осветлителей, задерживаются фильтрами 3.

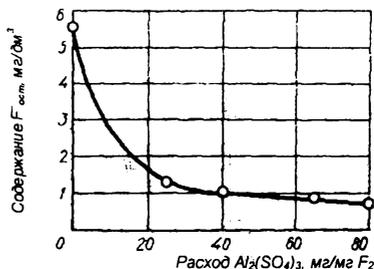
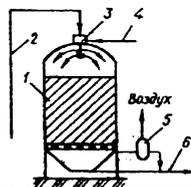


Рис. 15.9. Зависимость остаточного содержания $[F^-]$ в воде от удельного расхода $Al_2(SO_4)_3$.

Глава 16.

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ И ДЕМАНГАНИЯ ВОДЫ



16.1. СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Железо в природных водах встречается в виде ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} , а также в виде органических и неорганических соединений (коллоиды и взвеси). В поверхностных водах железо как примесь содержится главным образом в органических комплексах (гуматы), а также образует коллоидные и высокодисперсные взвеси. В подземных водах при отсутствии растворенного кислорода оно обычно находится в виде ионов Fe^{2+} .

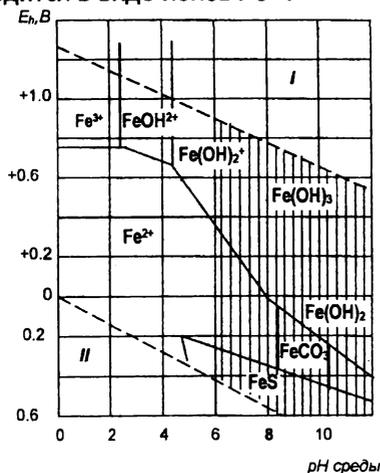


Рис. 16.1. Окислительно-восстановительный потенциал системы «железо-вода» в окислительной (I) и восстановительной (II) средах

На рис. 16.1 представлена диаграмма Пурбе, отражающая состояние системы «железо – вода» в координатах «окислительно-восстановительный потенциал E_h – значение pH». Вертикальными прямыми показаны значения pH гидратообразования при реально устанавливаемом равновесии в системе.

Как следует из диаграммы, при значениях $pH < 4,5$ железо находится в воде в виде ионов Fe^{3+} , Fe^{2+} и $Fe(OH)^{2+}$. При $pH > 4,5$ железо (II) окисляется в железо (III), которое и выпадает в осадок. В этих же условиях при $E_h < -0,2$ В и наличии в воде сульфидов может осаждаться FeS . В восстановительной среде в присутствии карбонатов и при $pH > 8,4$ возможно выделение $FeCO_3$, а при $pH > 10,3$ – $Fe(OH)_2$.

При наличии в обрабатываемой воде катализаторов – ионов

Cu^{2+} , Mn^{2+} , PO_4^{3-} а также при контакте ее с оксидами марганца или с ранее выпавшим $Fe(OH)_3$ скорость окисления Fe^{2+} кислородом значительно возрастает (рис. 16.2, а). С повышением pH среды время, затрачиваемое на окисление соединений железа (II), значительно сокращается.

Окисление Fe^{2+} кислородом воздуха происходит по реакции

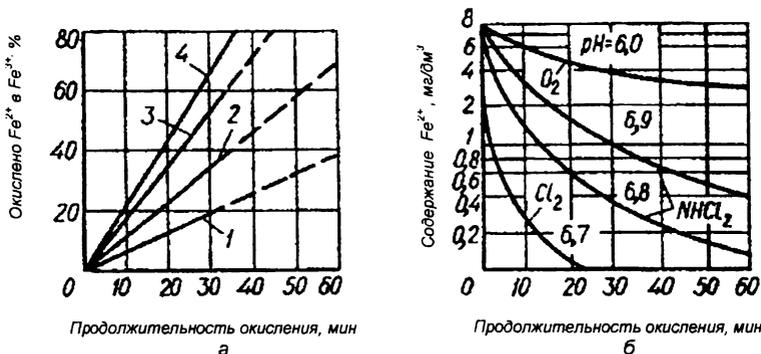
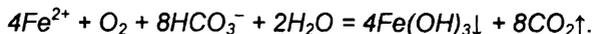


Рис. 16.2. Влияние на процесс окисления Fe^{2+} кислородом катализаторов (а) и кинетика его окисления кислородом, дихлораминном и хлором (б) при различных значениях pH среды:

1 – без катализатора; 2, 3 – соответственно Cu^{2+} и MnO_2 (по 0,02 мг/дм³); 4 – с гексаметафосфатом натрия (2мг/дм³).

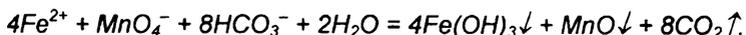
На окисление 1 мг железа (II) теоретически расходуется 0,143 мг растворенного в воде кислорода; щелочность воды при этом снижается на 0,036 мг-экв/дм³.

Скорость окисления соединений железа (II) значительно возрастает при хлорировании воды (нормальный окислительно-восстановительный потенциал хлора $E_h = 1,36$ В). Соединения железа (II) в присутствии гидрокарбонатов природных вод полностью гидролизуют по реакции



На окисление 1 мг соединений железа (II) расходуется 0,64 мг хлора; щелочность воды при этом снижается на 0,018 мг-экв/дм³. Как видно из рис. 16.2, б, при замене свободного хлора дихлораминном ($E_h = 0,76$ В при pH=5) длительность окисления соединений железа (II) значительно возрастает.

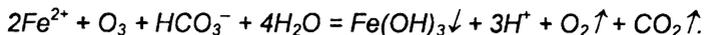
При обработке воды перманганатом калия реакция окисления и последующего гидролиза протекает по уравнению



На окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,71 мг перманганата калия; щелочность воды при этом уменьшается на 0,036 мг-экв/дм³.

Значительно ускоряется окисление соединений железа при озонировании воды, что обусловлено высоким окислительно-восстановительным потенциалом озона (2,076 В).

При небольшом содержании в воде сульфата железа (II) реакции с озоном и гидролиз протекают по уравнению



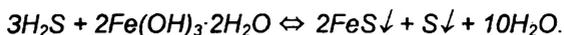
На окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,2 мг озона. Озон весьма активно разрушает комплексные соединения железа, придающие воде повышенную цветность.

16.2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

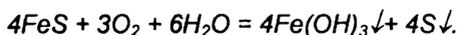
Для предварительного выбора метода обезжелезивания подземных вод необходимо руководствоваться следующим: *обезжелезивание воды упрощенным азрированием* применяется для вод, содержащих до 10 мг/дм³ общего железа (в том числе железа (II) не менее 70%); рН – не менее 6,8; щелочность – более $1 + \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{28}$ мг-

экв/дм³; содержание сероводорода – не более 2 мг/дм³.

Присутствующий в воде сероводород H_2S хорошо сорбируется образующейся на зернах фильтрующего материала пленкой гидроксида железа (III). Между адсорбированным H_2S и $\text{Fe}(\text{OH})_3$ происходит реакция:



Выделяющийся FeS окисляется кислородом воздуха:

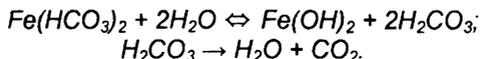


Однако процесс протекает медленно и в воде могут содержаться повышенные количества FeS и S , которые уменьшают активность пленки катализатора и тормозят окисление Fe^{2+} .

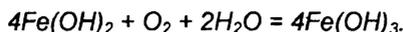
Поскольку $\text{Fe}(\text{OH})_3$ активно сорбирует кремниевую кислоту, при расчете установок необходимо учитывать ее содержание в воде. В результате адсорбции $\text{Fe}(\text{OH})_3$ активные участки на поверхности пленки катализатора блокируются и активность его по отношению к Fe^{2+} снижается.

Если в фильтруемой воде находится кремниевая кислота и сероводород, то содержание сульфида железа, коллоидной серы и силикатов в пленке катализатора может достигать 10%.

Аэрированием из воды удаляется гидрокарбонат железа, который является непрочным, легко гидролизующимся в воде соединением:

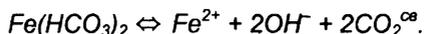


Образующийся $\text{Fe}(\text{OH})_2$ окисляется кислородом воздуха в $\text{Fe}(\text{OH})_3$:



Кроме насыщения обрабатываемой воды кислородом, аэрирование способствует удалению из нее свободной угольной кислоты.

В подземных водах гидрокарбонат железа со свободной угольной кислотой находится в динамическом равновесии:



Чем выше содержание CO_2 , тем больше гидрокарбоната железа находится в молекулярном виде и тем сильнее равновесие процесса смещено влево. Адсорбированные молекулы $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ на поверхности пленки катализатора окисляются очень медленно, и через некоторое время в фильтрат начинает попадать железо (II). При низком содержании CO_2 в воде равновесие сильно смещено вправо и железо находится в диссоциированном состоянии. В этом случае ионы Fe^{2+} адсорбируются на поверхности катализатора и быстро окисляются кислородом воздуха.

Влияние содержания в воде CO_2 на процесс обезжелезивания показано на рис. 16.3.

Поскольку процесс окисления железа (II), значительно замедляющийся при $\text{pH} < 7$, может вообще не закончиться на очистных сооружениях, удаление CO_2 является в ряде случаев необходимым этапом обезжелезивания воды. Если pH воды после гидролиза не падает ниже 7, в воду вводят воздух в количестве, необходимом лишь для окисления железа (II). Подают его во всасывающий патрубок насоса или эжектируют в трубопровод перед

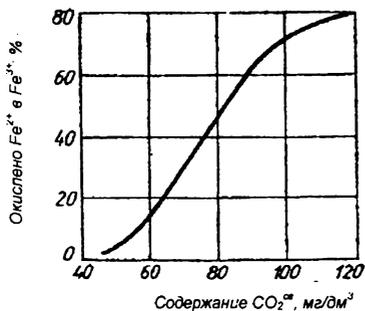


Рис. 16.3. Зависимость остаточного содержания $[\text{Fe}^{2+}]$ в фильтрате от концентрации CO_2 в исходной воде.

фильтрами. Если необходимо повысить значение pH, применяют разбрызгивание воды в брызгальных бассейнах, аэрирование в контактных и вентиляторных градирнях.

Количество CO_2 в воде, поступающей на обезжелезивающие установки, $C_{вх}$ определяют по формуле

$$C_{вх} = 1,57C_{Fe} + C_{нач}$$

где 1,57 – количество CO_2 , выделяющегося при гидролизе 1 мг железа, содержащегося в исходной воде, мг; C_{Fe} – содержание железа в исходной воде, мг/дм³; $C_{нач}$ – начальная концентрация CO_2 в воде, мг/дм³.

Ориентировочно $C_{нач}$ вычисляют по зависимости

$$C_{нач} = 0,268Ж_K^3,$$

где $Ж_K$ – карбонатная жесткость воды, мг-экв/дм³.

Количество свободной угольной кислоты C_y , которое необходимо удалить для повышения pH воды до 7,0-7,5, можно определить по формуле

$$C_y = 1,57C_{Fe} + (C_{нач} - C_{опт}),$$

где $C_{опт}$ – концентрация свободной угольной кислоты, соответствующая оптимальному значению pH при обезжелезивании воды, мг/дм³.

При известной щелочности исходной воды концентрацию свободной угольной кислоты в ней $C_{опт}$ вычисляют по формуле

$$C_{опт} = C_{ном}\beta\gamma,$$

где $C_{ном}$ – концентрация свободной угольной кислоты, определяемая при известной щелочности исходной воды по номограмме, мг/дм³; β , γ – поправки соответственно на солесодержание и температуру воды (табл. 16.1, 16.2).

Таблица 16.1. Выбор коэффициента β в зависимости от солесодержания воды

Солесодержание воды, мг/дм ³	100	200	300	400	500	750	1000
β	1,05	1,00	0,96	0,94	0,92	0,87	0,83

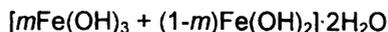
Таблица 16.2. Выбор коэффициента γ в зависимости от температуры воды

Температура воды, °С	0	10	20	30	40	50	60
γ	1,55	1,21	1,00	0,90	0,89	0,80	0,79

При фильтровании воды через зернистые загрузки методом упрощенного аэрирования на поверхности зерен образуется пленка,

состоящая в основном из $Fe(OH)_3$, которая активно влияет на процесс окисления и сорбции железа (II) из воды и значительно его интенсифицирует.

Электронно-микроскопические исследования показывают, что в состав пленки входит 2-30% железа (II) и 70-90-% железа (III). Ее состав можно охарактеризовать формулой



(m – содержание железа (III) в пленке).

Кинетика окисления железа (II) в свободном объеме воды и адсорбированного на поверхности зерен загрузки, покрытых пленкой гидроксида железа (III), разная (рис. 16.4). В свободном объеме воды железо (II) окисляется очень медленно, а адсорбированное на поверхности адсорбента – быстро. Следовательно, пленка $Fe(OH)_3$ является не только адсорбентом, но и катализатором.

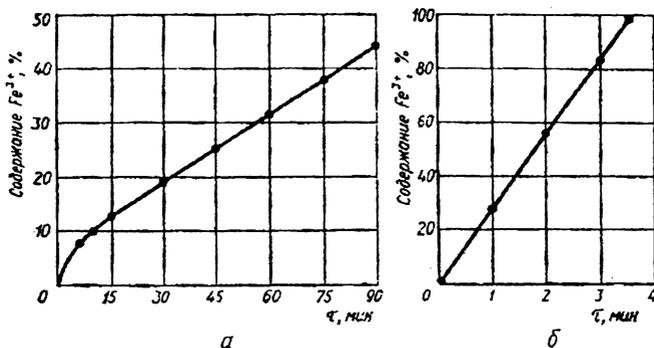


Рис. 16.4. Кинетика окисления Fe^{2+} в свободном объеме воды (а) и на поверхности песка, покрытого пленкой $Fe(OH)_3$ (б).

Окислительно-восстановительный потенциал E_h при окислении железа (II) в свободном объеме воды определяют по формуле, предложенной Г.Ю.Ассом:

$$E_h = 1,34 - 0,177pH,$$

где pH – водородный показатель исходной воды.

Поскольку в процессе фильтрования воды по методу упрощенного азрирования сорбционная активность пленки $Fe(OH)_3$ по отношению к железу снижается из-за присутствия в воде сероводорода и кремниевой кислоты, определить оптимальные условия обезжелезивания воды фильтрованием по приведенной формуле невозможно.

Снижение активности катализатора A/A_0 адсорбированными «ядами» можно описать линейной приближенной зависимостью

$$A/A_0 = 1 - aC,$$

где A , A_0 – соответственно активности загрязненного и чистого катализаторов; a – коэффициент отравления; C – количество «яда», адсорбированного катализатором.

Выразив коэффициент отравления катализатора адсорбционными коэффициентами, а количество адсорбированного «яда» – содержанием сероводорода и кремниевой кислоты в воде, получим предложенное В.И. Станкявичюсом уравнение для определения возможности обезжелезивания воды фильтрованием:

$$A / A_0 = 1 - 0,33C_{H_2S} - 0,021C_{H_2SiO_3},$$

где $0,33$ и $0,021$ – адсорбционные коэффициенты соответственно сероводорода и кремниевой кислоты; C_{H_2S} и $C_{H_2SiO_3}$ – соответственно содержание сероводорода и кремниевой кислоты в исходной воде, мг/дм³.

При $A/A_0 \leq 0$ обезжелезивание данной воды фильтрованием невозможно, при $A/A_0 > 0$ и нахождении железа в данной воде в ионном состоянии – возможно.

Зависимость активности катализатора от содержания в воде кремниевой кислоты и сероводорода представлена на рис. 16.5.

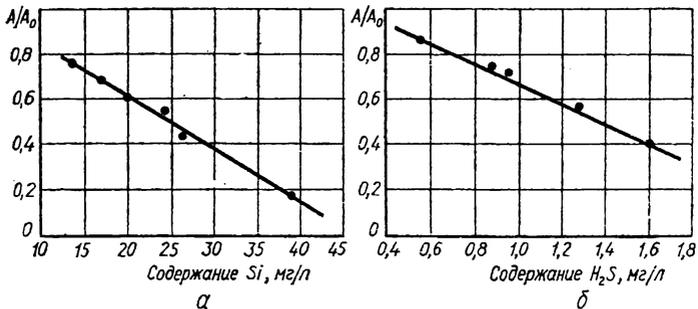


Рис. 16.5. Влияние присутствия H_2SiO_3 (а) и H_2S (б) в воде на снижение активности катализатора.

Удаление железа из воды в загрузке, покрытой пленкой, – гетерогенный автокаталитический процесс, в результате которого пленка непрерывно обновляется при работе фильтра. Пленка образуется и проявляет активность только при наличии в воде некоторого количества кислорода. Для обеспечения нормальной кинетики окисления железа (II) необходимо, чтобы содержание кислорода в

воде в 4-6 раз превышало теоретический расход и составляло 0,6-0,9 мг/мг железа (II). В самом начале работы фильтра одновременно с образованием пленки происходит зарядка загрузки, продолжительность которой в зависимости от качества воды, параметров загрузки и скорости фильтрования составляет от 30-40 ч до десяти и более суток. После окончания зарядки загрузки достигается полный и стабильный эффект обезжелезивания.

Примерную длительность образования каталитической пленки на зернах загрузки фильтров можно определить по интенсивности окисления α (в пределах не ниже 0,3-0,5 мг/дм³), вычисляемой по формуле

$$\alpha = \frac{\lg a_0 - \lg x}{t},$$

где a_0 – начальная концентрация железа (II) в исходной воде, мг/дм³; x – концентрация железа (II) в данный момент времени, мг/дм³; t – длительность окисления, ч.

Например, при снижении α от 0,6 до 0,1 длительность окисления возрастает с 5 до 30, а длительность образования пленки – с 50 до 250 ч.

Как указывалось ранее, природные воды, представляющие собой сложные многокомпонентные системы, можно характеризовать величиной *окислительно-восстановительного потенциала* E_h и значением pH. Эти показатели наиболее полно отражают взаимодействие всех присутствующих окислителей и восстановителей и равновесное состояние изучаемого объекта. По значению E_h к моменту завершения процессов окисления железосодержащие воды разделяют на три группы: первая – $E_h > +0,35$ В (полное окисление железа (II) с одновременным образованием крупных, хорошо оседающих хлопьев проходит довольно быстро – за 5-20 ч); вторая – $E_h > +0,30$ В (окисление завершается быстро, но хлопья мелкие и осаждаются лишь после окончания процесса окисления через 30-80 ч); третья – $E_h < +0,30$ В (полное окисление железа (II) затягивается до 25-45 ч, а осаждение железа (III) – до 100 ч).

16.3. МЕТОДЫ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Железо из природных вод удаляют методами, которые Г.И. Николадзе предложил разделить на безреагентные (физические) и реагентные.

К применяемым в настоящее время *безреагентным методам*

относятся: упрощенное азрирование* с последующим фильтрованием; азрирование с последующим отстаиванием и фильтрованием; «сухое» фильтрование; фильтрование на каркасных фильтрах; электрокоагуляция, двойное азрирование, обработка в слое взвешенного осадка и фильтрование; фильтрование в подземных условиях с предварительной подачей в пласт окисленной воды (метод «Виредокс»).

К *реагентным методам* относятся: упрощенное азрирование, окисление, фильтрование; напорная флотация с известкованием и последующим фильтрованием; известкование, отстаивание в тонкослойном отстойнике, фильтрование; аэрация, окисление, известкование, коагулирование, флокулирование с последующим отстаиванием или обработкой в слое взвешенного осадка и фильтрованием; фильтрование через модифицированную загрузку; катионирование.

При обезжелезивании подземных вод чаще всего применяют азрирование, поверхностных вод – коагулирование сульфатом алюминия с предварительным хлорированием, известкованием и отстаиванием.

Метод обезжелезивания воды следует выбирать на основе результатов технологического анализа. Предварительно выполняется полный химический анализ воды в источнике водоснабжения. При значительных сезонных колебаниях качества воды в водоеме анализы повторяют в различное время года. Наиболее рациональный метод обезжелезивания воды устанавливают технологическими исследованиями непосредственно у источника водоснабжения: предварительно определяют мутность, цветность, содержание железа (II) и железа (III), сероводорода, общую и карбонатную жесткость, pH, окисляемость, содержание хлоридов и сульфатов. Необходимо учитывать также опыт эксплуатации станций обезжелезивания воды, работающих в аналогичных условиях.

Конструкции фильтров для обезжелезивания воды аналогичны конструкциям фильтров для ее осветления и обесцвечивания (рис. 9.6, 9.13).

При упрощенной аэрации воду подают в карман или центральный канал открытых фильтров с высоты 0,5-0,6 м над уровнем в них воды. Дополнительно высоту слоя воды над нормальным уровнем для возможности ее приема при выключении фильтра на промывку определяют как и в фильтрах для осветления и обесцвечивания воды.

Скорость фильтрования и интенсивность промывки скорых

* При использовании этого метода обезжелезивания вода, обогащенная кислородом в результате азрирования, сразу направляется на фильтр, и железо (II) окисляется непосредственно в толще фильтрующего слоя.

фильтров для обезжелезивания воды методом упрощенной азрации должны составлять соответственно 5-7 м/ч и 14-16 л/(с·м²) при диаметре зерен загрузки 0,8-1,8 мм (высота слоя 1 000 мм); 7-10 м/ч и 16-18 л/(с·м²) при диаметре зерен 1,0-2,0 мм (высота слоя 1 200 мм). Коэффициент неоднородности фильтрующего слоя составляет 1,5-2,0, длительность промывки – 6-7 мин.

Г.Г. Руденко с сотрудниками разработал и внедрил на многих водопроводах метод обезжелезивания воды *упрощенным азрированием*, фильтруя ее через гранитный щебень. При использовании щебеночной загрузки скорость фильтрования возрастает и фильтроцикл удлиняется в 3-6 раз по сравнению с фильтрованием через кварцевый песок. Это объясняется тем, что объем межпорового

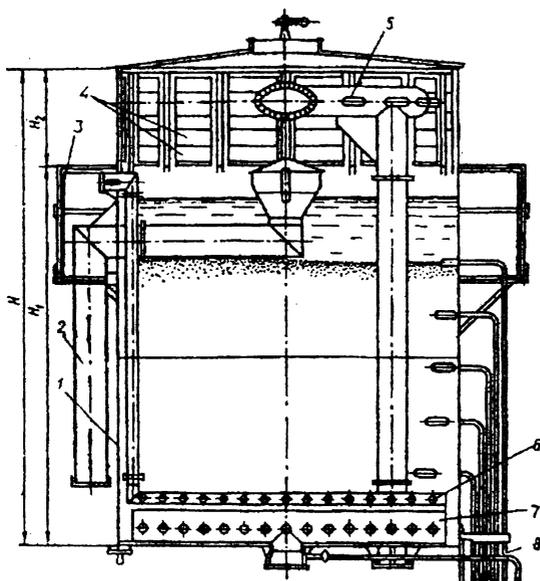


Рис. 16.6. Схема высокопроизводительного фильтра для обезжелезивания воды.

1 – корпус; 2 – отвод промывной воды; 3 – площадка для обслуживания; 4 – жалюзи для регулирования степени азрирования воды; 5 – азратор; 6 – воздушный дренаж; 7 – водяной дренаж для отфильтрованной и подачи промывной воды; 8 – пьезометры.

пространства в фильтрующем слое щебня значительно больше, чем в слое песка и, следовательно, больше его грязеемкость.

В сварном корпусе фильтра (рис. 16.6) размещаются дренажные устройства, загрузка, контролирующая аппаратура, арматура, площадки с лестницей для обслуживания, крыша с флюгером и жалюзи. Вода на поверхность загрузки распыляется азратором, установлен-

ный на высоте 0,7-0,9 м над корпусом фильтра. Он состоит из системы перфорированных труб с отверстиями, расположенными в шахматном порядке в два ряда и направленными вниз под углом 45° к вертикальной оси. Крайние отверстия в перфорированных трубах во избежание выноса капель и струй воды за пределы фильтра на-

правлены перпендикулярно к зеркалу воды в фильтре. Приток воздуха в зону азрирования регулируется специальными жалюзи, установленными по всему периметру фильтра.

Загружают фильтры однородной, отмытой и отсортированной фракцией щебня диаметром 5-10 мм на высоту 2,1 м. Высота поддерживающего слоя (диаметр фракций 15-20 мм) составляет 0,4 м. Скорость фильтрования при нормальном режиме – 15-20, при форсированном – до 35 м/ч. Промывка фильтров водовоздушная. Промывную воду подают с интенсивностью 16, воздух – 35-50 л/(с·м²). Расход воды на промывку составляет 0,5-1,2% производительности установки, фильтроцикл щебеночных фильтров – 2-5 сут. Все коммуникации в них могут находиться в подземных камерах, а сам фильтр допускается устанавливать на открытом воздухе. Во избежание его замерзания, трубу, подающую исходную воду, размещают внутри загрузки, а фильтр устраивают так, чтобы днище его располагалось выше уровня воды в приемном резервуаре. В случае прекращения подачи воды на фильтр загрузка освобождается от воды, что исключает замерзание фильтра. В связи с тем, что температура подземной воды колеблется в пределах 8-12°С, при работе установок со скоростью фильтрования 25-35 м³/ч в зимний период при температуре наружного воздуха до -30°С фильтр работает бесперебойно.

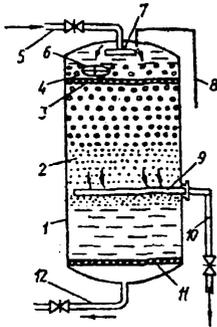


Рис. 16.7. Схема фильтра с пенополистирольно-шунгизитовой загрузкой: 1 – корпус фильтра; 2 – пенополистирол; 3 – разделительная сетка; 4 – шунгизит; 5 – подача исходной воды; 6 – загрузочный люк; 7 – распределитель; 8 – воздушная труба; 9 – дренаж; 10 – отвод фильтрата; 11 – дырчатое днище; 12 – отвод промывной воды.

Эффективным методом обезжелезивания воды, получающим распространение в последние годы, является ее фильтрование через плавающие гранулированные загрузки.

Схема фильтра с пенополистирольно-шунгизитовой загрузкой представлена на рис. 16.7. Удерживающей сеткой 3 фильтр 1 разделяется на две части: верхнюю, 70% объема которой через люк 6 загружают шунгизитом 4, и нижнюю, загружаемую пенополистиролом 2. Диаметр гранул шунгизита и верхнего слоя полистирола составляет 3-5 мм. Очищаемая

вода, содержащая до 11,6 мг/дм³ соединений железа (II) и железа (III), подается на фильтр по трубе 5 через распределительную систему 7 и фильтруется со скоростью 10 м/ч. Под воздействием гидродинамического потока движущейся сверху вниз воды шунгизит

прижимается к сетке, образуя фильтрующий слой. Очищенная вода отводится трубой 10, в которую она поступает из дренажной системы 9, расположенной в толще плавающей мелкогранульной пенополистирольной загрузки. Перед промывкой фильтра фильтрование воды прекращают, гранулы шунгизита всплывают и освобождаются от загрязнений. Затем открывают задвижки 5 и 12 и пропускают сверху вниз промывную воду. Шунгизит и пенополистирол очищаются от примесей, которые вместе с промывной водой через дырчатое днище 11 отводятся из фильтра. Накапливающиеся в фильтре газы выпускаются по трубе 8.

Преимущества фильтров с пенополистирольно-шунгизитовой загрузкой по сравнению с песчаной – увеличение их грязеемкости, скорости фильтрования и допустимой концентрации загрязнений в исходной воде. Кроме того, упрощается промывка загрузки (нет необходимости в установке промывных насосов) и снижается расход промывной воды. В настоящее время фильтры с плавающей загрузкой внедрены в типовой проект очистной станции производительностью 100 тыс. м³/сут.

Сточные воды, образующиеся вследствие промывки фильтров и отстойников в объеме до 4% очищаемой воды, содержат значительное количество $Fe(OH)_3$, губительно действующего на фауну и флору, поэтому спуск их в открытые водоемы без предварительной очистки категорически запрещен.

Промывные воды рекомендуется направлять в отстойники для очистки сточных вод, а осадки из них откачивать погружными насосами, устанавливаемыми в иловых приятках. Такими же насосами откачивают осветленную воду, используемую повторно.

Осушают удаляемый из отстойников осадок на иловых площадках или в вакуум-фильтрах. Опыт эксплуатации иловых площадок показывает, что из-за коагуляции дренажного слоя гидроксидом железа (III) они могут выходить из строя.

Объем осадка $W_{Fe(OH)_2}$, удаляемого из отстойников, при расчете иловых площадок определяют по формуле

$$W_{Fe(OH)_2} = \frac{QC_{Fe}1,93}{10^4(100-p)},$$

где Q – расход обрабатываемой воды, м³/сут; C_{Fe} – содержание железа в исходной воде, г/м³; 1,93 – стехиометрический коэффициент; p – влажность осадка, %.

Определив объем осадка $Fe(OH)_3$, рассчитывают площадь иловых площадок F (с учетом площади на обвалование, осушительных и подводящих коммуникаций):

$$F = \frac{W_{\text{Fe(OH)}_3} 1,5}{q},$$

где q – нагрузка осадка на иловые площадки, $\text{м}^3/\text{м}^2$ в год (принимается $2-8 \text{ м}^3/\text{м}^2$).

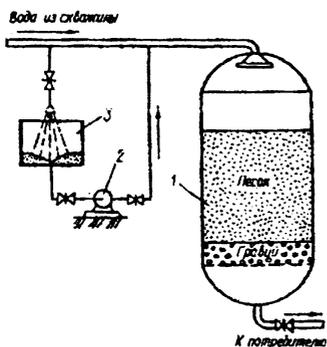


Рис. 16.9. Схема установки для обезжелезивания подземных вод с введением воздуха центробежным или вихревым насосом:

- 1 – напорный фильтр; 2 – насос;
3 – бак.

Иногда для обезжелезивания воды используют *напорные установки закрытого типа* (рис. 16.9.). В этом случае удаление CO_2 достигается не разбрызгиванием, а выдуванием воздухом. Воздух в напорный трубопровод можно вводить вспомогательным центробежным или вихревым насосом.

При засасывании насосом исходной воды из бачка, в который она поступает через душевую насадку, образуется водовоздушная эмульсия. Количество воздуха, подаваемого насосом, должно составлять около 2 м^3 на каждый килограмм удаляемого из воды железа (II).

Избыток растворенного кислорода при насыщении воды воздухом с целью ее обезжелезивания не должен превышать $0,6 \text{ мг/дм}^3$, O_2 на 1 мг Fe^{2+} с тем, чтобы часть железа окислялась в толще фильтрующей загрузки.

Желательно, чтобы в фильтрующую загрузку поступали не хлопья Fe(OH)_3 , а его положительно заряженный золь. Это позволяет увеличить длительность фильтроцикла, поскольку положительно заряженный золь Fe(OH)_3 хорошо сорбируется отрицательно заряженной поверхностью зерен песка.

Обезжелезивание подземных вод, содержащих до 6 мг/дм^3 железа (II), достигается методом «сухого» *фильтрования*. Сущность метода заключается в фильтровании водовоздушной эмульсии через «сухую» (незатопленную) зернистую фильтрующую загрузку с образованием в ней вакуума или нагнетанием больших количеств воздуха с последующим подсосом из поддонного пространства. На зернах фильтрующей загрузки в течение $0,3-2,0$ ч формируется адсорбционно-каталитическая пленка, повышающая эффективность обезжелезивания.

Характерная особенность процесса «сухого» фильтрования –

образование дегидратированной пленки на зернах загрузки, состоящей из магнетита Fe_3O_4 , гетита $\alpha-FeOOH$, сидерита $FeCO_3$, гематита Fe_2O_3 . Эти соединения имеют плотную структуру, а объем в 4-5 раз меньший, чем $Fe(OH)_3$. Поэтому потери напора в загрузке малы, а длительность фильтроцикла велика – до года и более.

Схема установки для обезжелезивания воды методом «сухого» фильтрования (рис.16.10) состоит из напорных осветлительных фильтров марок ФОВ или ХВ, компрессора и воздухоотделителя.

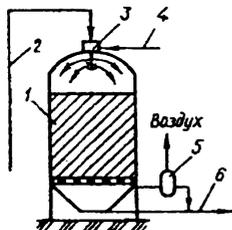


Рис.16.10. Технологическая схема установки для обезжелезивания воды методом «сухого» фильтрования:

1 – осветлительный напорный фильтр; 2 – подача исходной воды; 3 – смешивательная насадка с разбрызгивателем; 4 – подача сжатого воздуха; 5 – воздухоотделитель; 6 – отвод фильтрата.

Если азрированием воды не обеспечивается необходимая степень обезжелезивания, что обычно наблюдается при наличии в исходной воде солей железа с сильными минеральными кислотами или гипоматов, то станции обработки воды дополняют установками для подачи в воду хлора или перманганата калия, предусматривая ввод их перед фильтрами в подводящий трубопровод.

Эффективно обезжелезивается вода в *каркасных фильтрах*. Сущность метода заключается в том, что в подземную воду подается воздух, излишки которого перед фильтром удаляются через воздухоотделитель.

Вода, обогащенная кислородом, поступает на фильтры, где происходит окисление и гидролиз железа (II). При прохождении воды через слой $Fe(OH)_3$, предварительно сформированный на подерживающей перегородке (керамическом, сетчатом или щелевом каркасе), эти процессы завершаются и железо извлекается из воды. Обезжелезивание воды *электрокоагуляцией* основано на сорбции ионов, коллоидных и диспергированных соединений железа (II), (III) гидроксидами металлов (железа, алюминия, магния и др.), образующимися в результате растворения электродов. Исследованиями Л.А. Кульского, П.П. Строкача, Н.П. Яловой установлено, что с повышением значения pH и температуры воды, а также количества высокодисперсных частичек, обуславливающих мутность, эффект обезжелезивания воды возрастает. Наиболее эффективно процесс протекает в электролизерах с алюминиевым анодом и при неглубоком обезжелезивании воды, т. е. при снижении концентрации железа на 60-80%. В этом случае при небольших расходах алюминия и электроэнергии значительно снижается содержание железа в воде (рис. 16.11).

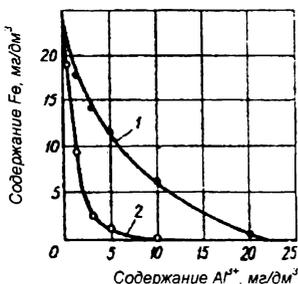


Рис. 16.11. Влияние дозы алюминия на степень обезжелезивания воды:
1 – pH = 6,8; 2 – pH = 8,2.

При небольших количествах обрабатываемой воды метод электрокоагуляции можно использовать и для глубокого ее обезжелезивания. Для этого требуются повышенные расходы алюминия и электроэнергии. Например, для полного обезжелезивания воды, содержащей 25 мг/дм³ железа при плотности тока 2 мА/см² и pH=6,8, расход алюминия составляет 25 мг/дм³, а электроэнергии – 0,4 кВт·ч/м³.

Электрокоагуляция целесообразна лишь в случае комплексной очистки воды и удаления из нее не только соединений железа, но и других загрязнений (взвешенных и органических веществ, водорослей, соединений кремния и др.).

Воду с окисляемостью более 15 мг/дм³ O₂ и содержанием соединений железа более 10 мг/дм³ можно обезжелезивать методом *напорной флотации*. Сущность его состоит в действии молекулярных сил, способствующих слипанию частичек Fe(OH)₂, Fe(OH)₃ и других примесей воды с пузырьками высокодиспергированного в воде воздуха, вследствие чего образующиеся агрегаты всплывают на поверхность воды.

Известен также метод обезжелезивания воды *фильтрованием в подземных условиях* с предварительной подачей в пласт азрированной воды. Метод основан на создании в водоносном горизонте «зоны осаждения» из соединений железа и последующем прохождении через этот фильтр подземной воды. Предварительно азрированная (эжектированием) вода насосом закачивается в подземный пласт (рис. 16.12) через одну или несколько скважин. Происходит как бы зарядка водовмещающей породы, которая связывает большое количество кислорода. После оконча-

ние

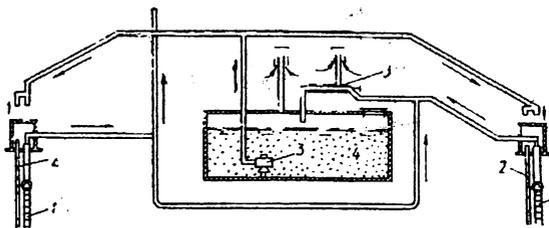


Рис. 16.12. Схема установки «Виредокс»:
1 – эксплуатационные колодцы; 2 – окислительные колодцы; 3 – насос для подачи окисленной воды; 4 – резервуар обезжелезиванной воды; 5 – кислородный генератор.

ние

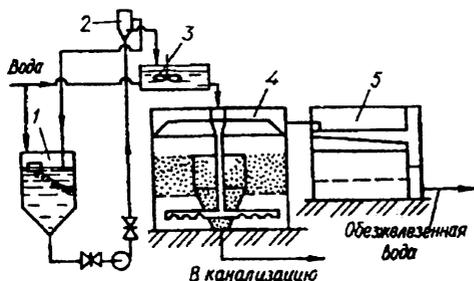


Рис. 16.13. Схема установки для обезжелезивания воды известкованием:

1 – гидравлическая мешалка для известкового молока; 2 – дозатор; 3 – смеситель; 4 – осветлитель; 5 – фильтр.

ния процесса зарядки начинается откачка обезжелезиванной воды из рабочей скважины или скважин, расположенных на некотором расстоянии от нагнетательной скважины. С течением времени в результате истощения запасов кислорода в адсорбционном слое в отбираемой воде возрастает содержание соединений железа. Это служит сигналом для повторения процесса зарядки, за которым вновь следует рабочий цикл, и т. д.

Эффективное обезжелезивание воды может достигаться предварительным ее известкованием с использованием катализаторов (соединений Mn), катионированием.

Схема установки для обезжелезивания воды известкованием приведена на рис. 16.13, а схема установки с предварительным аэрированием воды в смесителе-аэраторе и последующей обработкой в осветлителе – на рис. 16.14.

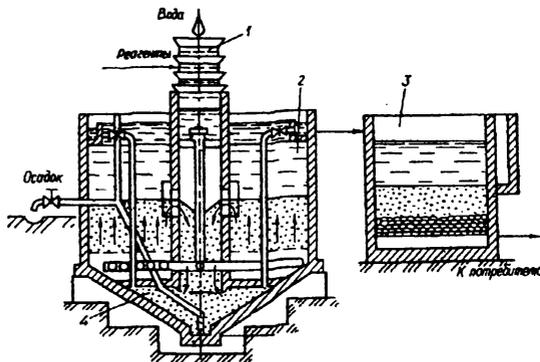


Рис. 16.14. Схема установки для обезжелезивания воды со смесителем-аэратором и осветлителем:

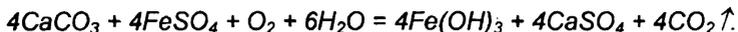
1 – смеситель-аэратор; 2 – осветлитель; 3 – фильтр; 4 – осадкоуловитель.

16.4. ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Поверхностные воды обезжелезивают при одновременном осветлении и обесцвечивании. Железо, находящееся в воде в виде коллоидов, высокодисперсных взвесей и комплексных органических соединений, удаляется *обработкой воды коагулянтами* (сульфатом алюминия, хлоридом железа (III), смешанным коагулянтом). Для разрушения комплексных органических соединений железа воду обрабатывают хлором, перманганатом калия. При использовании в качестве коагулянта $Fe(OH)_3$ обеспечивается более полное удаление железа из воды вследствие интенсивной адсорбции ионов железа на хлопьях $Fe(OH)_3$. Оптимальный эффект адсорбции ионов железа наблюдается в интервале значений pH воды 5,7-7,5.

Неорганические и органические соединения железа эффективно удаляются *смешанным коагулянтом* $FeCl_3 + NaAlO_2$ (оптимальное молекулярное соотношение 1:1). При этом устраняются также коллоидная кремниевая кислота, марганец и взвеси. Дозы коагулянтов определяют экспериментально. Технологическая схема обезжелезивания воды коагулированием включает реагентное хозяйство, смесители, осветлители и фильтры.

Разработан также метод удаления железа из воды пропуская ее через *взвешенный слой высокодисперсного мела и гидроксида алюминия*:



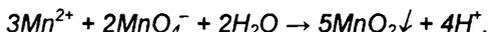
Оптимальное соотношение основных компонентов $Al(OH)_3/CaCO_3 = 16$. Расчетная скорость восходящего потока через взвешенный слой мела достигает 0,48 мм/с. Концентрация мела во взвешенном слое составляет 0,02-0,03 г/см³. Этим методом удаляется до 95% общего железа, содержащегося в воде.

Гидроксиды из воды наиболее эффективно извлекаются в осветлителях со слоем взвешенной контактной среды. Благодаря гетерогенно-каталитическому процессу, железо (II) в слое взвешенной контактной среды окисляется быстрее. На эффект обезжелезивания влияют pH, температура, исходная концентрация железа, высота слоя контактной среды и скорость восходящего потока воды. При коагуляции без известкования эту скорость принимают равной 0,8, с известкованием – 1,0 мм/с. Высоту слоя взвешенной контактной среды в осветлителе принимают равной 2 м, высоту защитного слоя воды над осадком – 1,5 м. Объем осадкоуплотнителя в осветлителе должен обеспечивать пребывание в нем осадка в течение 6 ч. Количество отсасываемой в осадкоуплотнитель воды составляет 20-30%.

16.5. ДЕМАНГАЦИЯ ВОДЫ

Удалить из воды марганец можно следующими методами: аэрированием с подщелачиванием; фильтрованием через «черный песок» или катионит; окислением озоном, хлором или оксидом хлора (IV); коагулированием с подщелачиванием; биохимическим окислением.

Удаление марганца обработкой перманганатом калия. Перманганат калия окисляет марганец (II) до оксида марганца (IV);



На окисление 1 мг марганца (II) расходуется 1,88 мг перманганата калия. Образующийся дисперсный осадок $MnO_2 \cdot 2H_2O$, или $Mn(OH)_4$, характеризуется большой удельной поверхностью и является эффективным сорбентом.

Удаление марганца перманганатом калия из поверхностных вод осуществляют на фильтровальных станциях совместно с другими методами обработки воды (коагулирование, фильтрование, хлорирование и др.).

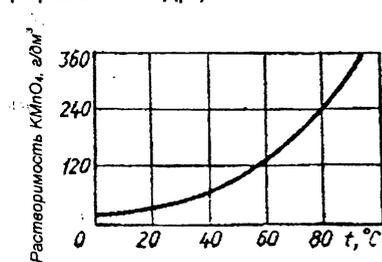


Рис.16.15. Зависимость растворимости $KMnO_4$ от температуры воды.

Перманганат калия плохо растворяется в холодной воде (рис. 16.15), поэтому ее нагревают до 40-60°C. Растворяют перманганат калия при перемешивании механическими мешалками или воздухом в течение 2-3 ч. Для обработки воды применяют 1-3%-й рабочий раствор.

Длительность фильтроцикла при обработке подземных вод можно увеличить введением в воду одновременно с перманганатом калия 3-4 г/м³ активированной кремниевой кислоты, что позволит получить более крупные хлопья, медленнее проникающие в фильтрующую загрузку.

Очистить воду от марганца перманганатом калия можно на 95-99%.

Удаляют марганец аэрированием с подщелачиванием обычно при обезжелезивании подземных вод. Метод основан на удалении из воды свободной угольной кислоты и насыщении ее кислородом. Вследствие удаления угольной кислоты повышается pH и ускоряется окисление марганца Mn^{2+} в Mn^{3+} и Mn^{4+} , которые, гидролизуясь, осаждаются в виде гидроксидов.

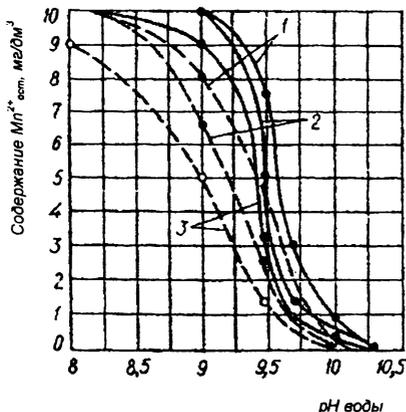


Рис. 16.16. Зависимость скорости окисления марганца (II) от рН воды: — окисление кислородом; --- окисление хлором; 1-3 — остаточное содержание $[Mn^{2+}]$ соответственно через 15, 30 и 60 мин.

Для обеспечения полноты удаления марганца воду подщелачивают известью или содой до $pH=9,5-10$ (рис. 16.16) и осветляют в осветлителях или отстойниках. Воду целесообразно подщелачивать в том случае, когда одновременно с удалением марганца требуется ее умягчение. Содержание марганца в умягченной воде после известкования не превышает $0,02 \text{ мг/дм}^3$.

Для удаления марганца из поверхностных вод их обрабатывают сульфатом железа и подщелачивают известью до $pH=9,5-10,5$. Поскольку частички гидроксида марганца, поступающие на фильтры после отстойников или осветлителей, могут проникать на большую глубину, высоту слоя песка в фильтрах принимают не менее 1,5 м.

Окисление соединений марганца (II) в марганец (IV) резко ускоряется в присутствии катализаторов — высших оксидов марганца. Это наблюдается при фильтровании азрированной воды через контактный фильтр, загруженный дробленым пиролюзитом $MnO_2 \cdot xH_2O$ или «черным песком» (рис. 16.17). Образование пленки на поверхности зерен песка в период его подготовки к работе ускоряется введением в подаваемую на фильтр воду 1-3 мг/дм³ перманганата калия.

Восстанавливают каталитическое действие «черного песка» (катионит) обработкой его 0,1-0,5%-м раствором перманганата калия из расчета 0,6 г на 1 г удаленного марганца. Содержание

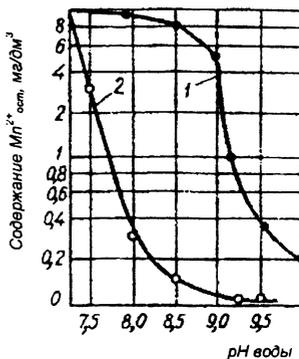


Рис. 16.17. Влияние контакта воды с оксидами марганца на скорость его окисления кислородом воздуха (выдержка после азрирования 60 мин, фильтрование): 1 — без применения катализатора; 2 — после контакта с $Mn(OH)_4$.

марганца в фильтрате снижается до 0,1 мг/дм³.

Удаление марганца окислением. Наиболее полно марганец удаляется при озонировании воды. В результате окисления образуется малорастворимый оксид марганца (IV), который выделяется из воды при фильтровании последней через зернистые загрузки.

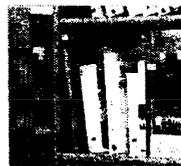
При pH>4 марганец (II) достаточно быстро окисляется хлором. Если в воде присутствуют аммиак и аммонийные соли, доза хлора должна обеспечивать окисление хлораминов и марганца. Для полного окисления хлораминов необходимо вводить около 6 мг Cl₂/ мг содержащегося в воде аммиака и, кроме того, 1,3 мг хлора на окисление 1 мг Mn²⁺ в Mn³⁺.

Оксид хлора (IV) и озон окисляют марганец (II) при pH=6,5-7,0 в течение 10-15 мин; расход оксида хлора (IV) составляет 1,35, озона – 1,45 мг/мг Mn²⁺.

Марганец удаляют из воды также *биохимическим окислением*, пропуская ее через напорные фильтры, загруженные песком с крупностью зерен до 1-3 мм, засеянным небольшим количеством марганцепотребляющих бактерий типа *Metallogenium personatum*, *Caulococcus manganifer*, *Bacteria manganicus*. Высоту слоя загрузки принимают равной 1,5 м, скорость фильтрования – 30 м/ч.

Отмирающие бактерии образуют на поверхности зерен песка биомассу, содержащую оксиды марганца, катализирующие окисление.

ЛИТЕРАТУРА



1. *Алферова Л.А., Нечаев А.П.* Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. – М., 1984.
2. *Аюкаев Р.И., Мельцер В.З.* Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. – Л., 1985.
3. *Алхазов Т.Г., Марголис Л.Я.* Глубокое каталитическое окисление органических веществ. – М., 1985.
4. *Белан А. Е.* Технология водоснабжения. – К.: Наук. думка, 1985. – 264 с.
5. *Вейцер Ю.И., Минц Д.М.* Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984. – 200 с.
6. *Гребенюк В.Д., Мазо А.А.* Обессоливание воды ионитами. – М., 1980.
7. *Демура М.В.* Проектирование тонкослойных отстойников. – Киев, 1981.
8. *Егоров А. И.* Гидравлика напорных трубчатых систем в водопроводных очистных сооружениях. – М., 1984.
9. *Жужиков В. А.* Фильтрация. – М., 1980.
10. *Журба М. Г.* Очистка воды на зернистых фильтрах. – Львов, 1980.
11. *Запольский А.К., Баран А.А.* Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. – Л.: Химия, 1987. – 208с.
12. *Когановский А.М.* Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. – Киев, 1983.
13. *Кульский Л.А.* Основы химии и технологии воды. – Киев: Наукова думка, 1991. – 568 с.
14. *Кульский Л.А.* Теоретические основы и технология кондиционирования воды. – К.: Наук. думка, 1983. – 528 с.
15. *Кульский Л.А., Накорчевская В.Ф.* Химия воды. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1983. – 240 с.
16. *Кульский Л.А., Строкач П.П.* Технология очистки природных вод: Учебник для вузов. – К.: Высш. школа. Головное изд-во, 1986. – 352с.
17. *Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П.* Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. – М., 1982.
18. *Любарский В.М.* Осадки природных вод и методы их обработки. – М.: Стройиздат, 1980. – 128 с.
19. *Мазур И.И., Молдаванов О.И.* Курс инженерной экологии: Учеб. для вузов / Под ред. И.И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1999. – 447 с.: ил.
20. *Методы очистки промышленных сточных вод.* – Кишинев: Молд НИИНТИ, 1990. – 45 с.
21. *Натанов Х. Х.* Подготовка геотермальных вод к использованию. – М., 1980.
22. *Николадзе Г.И.* Обезжелезивание природных и оборотных вод. – М., 1978.
23. *Николадзе Г.И.* Технология очистки природных вод: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1987. – 479 с.

24. *Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А.* Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. – М.: Высш. шк., 1984. – 368 с.
25. Основы экологии и экологическая безопасность: Учеб. пособие / Под ред. В.В. Шкарина, И.Ф. Колпацкиной. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородский гос. мед. академии, 1998. – 172с.
26. Очистка вод атомных электростанций / Л.А. Кульский, Э.Б. Страхов, А. М. Волошинова, В.А. Близнякова. – К. : Наук. думка, 1979. – 207 с.
27. Очистка воды электрооагуляцией/Л.А. Кульский, П.П. Строкач, В. А. Слипченко и др.– К.: Будівельник, 1978. – 112 с.
28. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко и др. – М., 1983.
29. Рациональное использование водных ресурсов. Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1991. – 400 с.
30. Сборник санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению. СанПиН 10 – 124 РБ 99, СанПиН 10 – 113 РБ 99, СанПиН 8 – 83 – 98 РБ 99. – Мн., 2000. – 152 с.
31. Словарь стандартизированных терминов по охране окружающей среды/ВНИИ техн. информ., классификации и кодирования. Автоматизир. система информ. – Терминол. обслуживания. – М.: ВНИИКИ, 1989. – 110 с.
32. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко: – Киев: Наукова думка, ч.1, 1980. – 680 с.
33. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко. - Киев: Наукова думка, ч.2, 1980. – 681 – 1206 с.
34. *Смирнов А.Д.* Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
35. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Л.А. Кульский, И.М. Гороновский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко. – К.: Наук. думка, 1980. – 1206 с.
36. Справочник по эксплуатации систем водоснабжения, канализации и газоснабжения.– Л.: Стройиздат, 1981. – 272 с.
37. *Строкач П.П., Кульский Л.А.* Практикум по технологии очистки природных вод. – Минск: Выш. шк., 1980. – 320 с.
38. Толковый словарь по химии и химической технологии. Основные термины / С.М. Баринов, Б.Е. Восторгов, Л.Я. Герцберг и др. Под ред. Ю.А. Лебедева. – М.: Рус.яз., 1987. – 528 с.
39. *Челноков А.А., Ющенко Л.Ф.* Основы промышленной экологии. – Мн.: Выш. школа, 2001. – 343 с.
40. *Чистик О.В.* Экология: Учеб. пособие. – Мн.: «Новое знание», 2000. – 248 с.
41. *Яловая Н.П., Строкач П.П.* Экология и гидрохимия. Словарь-справочник: Справ. пособие. – Брест, БГТУ, 2004. – 316 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. РЕСУРСЫ ГИДРОСФЕРЫ	
1.1. Ресурсы гидросферы как источники водоснабжения.....	5
1.2. Качество воды гидросферы.....	10
1.3. Классификация состава водных ресурсов на основе их фазово-дисперсного состояния.....	36
1.3.1. Классификация примесей воды.....	36
1.3.2. Физико-химическая характеристика дисперсных и растворимых примесей воды.....	38
1.3.3. Физико-химическая характеристика различных групп примесей и загрязнений воды.....	42
1.4. Требования к ресурсам гидросферы.....	49
Глава 2. УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕСУРСОВ ГИДРОСФЕРЫ	
2.1. Технология улучшения качества ресурсов гидросферы.....	54
2.2. Выбор технологии для улучшения качества ресурсов гидросферы.....	57
2.3. Технологические схемы по улучшению качества воды.....	58
2.4. Критерии выбора рациональной технологии улучшения качества воды.....	61
Глава 3. ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА РЕСУРСОВ ГИДРОСФЕРЫ КОАГУЛИРОВАНИЕМ	
3.1. Теоретические основы процесса коагулирования примесей воды.....	65
3.1.1. Физико-химические условия формирования коллоидной частицы и мицеллы.....	65
3.1.2. Коагуляция гидрофильных и гидрофобных коллоидов.....	70
3.1.3. Влияние полноты гидролиза коагулянтов на процесс коагуляции.....	73
3.1.4. Влияние физико-химических факторов на процессы осветления и обесцвечивания природных вод коагуляцией.....	77
3.2. Контактная коагуляция.....	80
3.3. Электрохимическая коагуляция.....	82
3.3.1. Основы процесса электрохимического растворения металлов.....	82
3.3.2. Влияние различных факторов на электрохимическое растворение электродов.....	84
3.3.3. Конструкции электрокоагуляторов.....	86
3.4. Коагулянты и флокулянты, применяемые в водоподготовке.....	90
3.4.1. Технологическая характеристика, получение и свойства коагулянтов.....	90
3.4.2. Технологическая характеристика и свойства флокулянтов.....	94
3.4.3. Получение активной кремниевой кислоты.....	96
3.4.4. Влияние флокулянтов на технологический процесс водоподготовки.....	97
3.4.5. Оптимальные условия и интенсификация процесса коагуляции.....	98
ГЛАВА 4. РЕАГЕНТНОЕ ХОЗЯЙСТВО	
4.1. Прогноз расхода коагулянта.....	107
4.2. Расчетные дозы реагентов.....	109
4.3. Склады для хранения реагентов.....	111
4.3.1. Расчет склада.....	111
4.3.2. Хранение реагентов в сухом виде.....	112
4.3.3. Хранение реагентов в жидком виде.....	113
4.3.4. Особенности хранения хлора, кислот, фторсодержащих и других реагентов.....	113
4.4. Приготовление рабочих растворов коагулянтов.....	115

4.4.1. Расчет растворных и расходных баков.....	115
4.5. Приготовление растворов флокулянтов.....	117
4.5.1. Приготовление активной кремниевой кислоты.....	117
4.5.2. Приготовление растворов органических флокулянтов.....	119
4.6. Приготовление известкового молока и известкового раствора.....	120
4.7. Приготовление растворов фторсодержащих реагентов.....	121
4.8. Приготовление пульпы активированных углей.....	121
4.9. Приготовление растворов соды, гексаметафосфата натрия и перманганата калия..	122
4.10. Последовательность введения реагентов.....	123
4.11. Дозирование реагентов.....	127
ГЛАВА 5. СМЕШЕНИЕ РЕАГЕНТОВ С ВОДОЙ	
5.1. Теоретические основы и технология смешения реагентов с водой.....	128
5.2. Дырчатые смесители.....	130
5.3. Перегородчатые смесители.....	131
5.4. Вихревые смесители.....	132
5.5. Трубчатые смесители.....	133
5.6. Механические смесители.....	136
ГЛАВА 6. КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ	
6.1. Теоретические основы процесса хлопьеобразования.....	139
6.2. Перегородчатые камеры хлопьеобразования.....	142
6.3. Вихревые камеры хлопьеобразования.....	144
6.4. Камеры хлопьеобразования со слоем взвешенной контактной среды.....	146
6.5. Камеры хлопьеобразования водоворотного типа, встроены в вертикальные отстойники.....	150
6.6. Механические камеры хлопьеобразования.....	151
Глава 7. ОСАЖДЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ	
7.1. Теоретические основы процесса осаждения.....	154
7.2. Отстойники осветления воды.....	159
7.3. Осветление воды в гидро- и мультициклонах.....	165
Глава 8. ОСВЕТЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ КОНТАКТНЫМ КОАГУЛИРОВАНИЕМ	
8.1. Принципы работы осветлителей.....	167
8.2. Свойства взвешенной контактной среды.....	169
8.3. Конструкции и расчет осветлителей.....	170
Глава 9. ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ ФИЛЬТРОВАНИЕМ	
9.1. Теоретические основы очистки воды фильтрованием через зернистые материалы...	172
9.2. Классификация фильтров, фильтрующие материалы.....	176
9.3. Фильтрование воды через сетки в ткани.....	180
9.4. Акустические сетчатые фильтры.....	184
9.5. Предварительные фильтры.....	185
9.6. Крупнозернистые фильтры.....	185
9.7. Скорые безнапорные фильтры.....	186
9.8. Скорые фильтры с однослойной загрузкой.....	187
9.9. Скорые фильтры с двухслойной загрузкой.....	188
9.10. Фильтры АКХ.....	189
9.11. Промывка скорых безнапорных фильтров.....	191
9.12. Скорые напорные фильтры.....	196
9.13. Сверхскорые напорные фильтры.....	198
9.14. Фильтры-электролизеры.....	199
9.15. Контактные осветлители и фильтры.....	200
Глава 10. УДАЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ВОДЫ МЕТОДОМ ФЛОТАЦИИ	
10.1. Теоретические основы и классификация методов флотации.....	203
10.2. Флотационные установки.....	205

Глава 11. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ОКИСЛИТЕЛЯМИ

11.1. Контроль процесса и методы обеззараживания воды.....	210
11.2. Общие сведения о процессе хлорирования воды.....	211
11.3. Хлор и его соединения.....	212
11.4. Химизм процесса хлорирования воды.....	214
11.5. Классификация методов хлорирования воды.....	219
11.6. Установки для хлорирования воды.....	222
11.7. Комбинированные методы хлорирования воды.....	226
11.8. Обеззараживание воды йодом.....	228

Глава 12. ОЗОНИРОВАНИЕ ВОДЫ

12.1. Общие сведения об озоне.....	229
12.2. Свойства, принцип действия и условия применения озона.....	231
12.3. Условия электросинтеза озона.....	233
12.4. Конструкции озонаторов.....	236
12.5. Технологические схемы озонирования воды.....	239
12.6. Смешение озono-воздушной смеси с обрабатываемой водой.....	241

Глава 13. ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

13.1. Обеззараживание воды ультрафиолетовыми (УФ) лучами.....	247
13.1.1. Общие сведения.....	247
13.1.2. Бактерицидные лампы и установки.....	249
13.2. Обеззараживание воды ультразвуком.....	251
13.3. Обеззараживание воды ионами серебра.....	254
13.4. Термическое обеззараживание воды.....	257
13.5. Обеззараживание воды рентгеновским и радиоактивным излучением, токами высокой частоты.....	257
13.6. Обеззараживание воды вакуумированием.....	258

Глава 14. ДЕЗОДОРАЦИЯ ВОДЫ

14.1. Общие сведения о дезодорационной технологии водоподготовки.....	259
14.2. Аэрирование воды.....	262
14.3. Обработка воды окислителями.....	264
14.4. Адсорбционные методы дезодорации воды.....	269
14.4.1. Характеристика, получение и свойства сорбентов.....	269
14.4.2. Технология дезодорации воды углеванием.....	271
14.5. Окислительно-сорбционный метод обработки воды.....	273
14.6. Удаление из воды ядохимикатов.....	276

Глава 15. ФТОРИРОВАНИЕ И ОБЕСФТОРИВАНИЕ ВОДЫ

15.1. Условия, определяющие необходимость фторирования воды.....	278
15.2. Гигиенические нормативы содержания фторид-ионов в хозяйственно-питьевой воде.....	279
15.3. Технология фторирования воды.....	280
15.4. Технологические схемы и контроль работы фтораторных установок.....	283
15.5. Классификация методов обесфторивания воды и их санитарно-гигиеническая оценка.....	289
15.6. Ионообменные методы обесфторивания воды.....	290
15.7. Сорбционные методы обесфторивания воды.....	296

Глава 16. ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ И ДЕМАНГАНИЯ ВОДЫ

16.1. Соединения железа в природных водах.....	299
16.2. Физико-химические основы процесса обезжелезивания природных вод.....	301
16.3. Методы и установки для обезжелезивания подземных вод.....	306
16.4. Обезжелезивание поверхностных вод.....	315
16.5. Деманганация воды.....	316

ЛИТЕРАТУРА	319
-------------------------	-----

Учебное издание

Строкач Петр Павлович
Яловая Наталья Петровна

ЭКОЛОГИЯ ГИДРОСФЕРЫ

ISBN 985-493-002-5



9 789854 930022

Технический редактор *Строкач Т.В.*
Корректор *Никитчик Е.В.*
Компьютерный набор *Яловая Н.П.*
Компьютерная верстка *Боровикова Е.А.*

Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г.
Подписано в печать 15.12.2004 г. Формат 60×84 1/16. Бумага «Чайка». Усл. п. л. 18,6.

Уч.-изд. л. 20,0. Заказ 1164. Тираж 200 экз.
Отпечатано на ризографе Учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, Брест, ул. Московская, 267.

Лицензия № 02330/0148711 от 30.04.2004 г.