

РАЗДЕЛ 1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ЕЕ ОБРАБОТКИ

1.1. Характеристика состава природных вод

1.1.1. Нормативные документы, регламентирующие качество питьевой воды

Рассматривая качество природных вод и требования к степени ее очистки, следует руководствоваться рядом нормативных документов. Основной документ, регламентирующий требования к качеству питьевой воды – СанПиН 2.1.4.1074-01. «Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». При проектировании и эксплуатации систем горячего водоснабжения руководствуются также СанПиН 2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Изменение к СанПиН 2.1.4.1074-01». До введения СанПиН использовался ГОСТ 2874-82* «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством», который в настоящее время не действует.

Ряд показателей качества воды (алюминий, хлороформ) нормируется по ГН 2.1.5.1315-03. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» и ГН 2.1.5.2280-07 «Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03».

Оценку источников водоснабжения и необходимой степени обработки воду следует производить по ГОСТ 2761-84. «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора».

1.1.2. Состав природных вод

Источниками воды для централизованных систем водоснабжения являются подземные и поверхностные воды и атмосферные осадки, К подземным водам относят: подрусловые, грунтовые, межпластовые, артезианские, карстовые, шахтные. Шахтными называют подземные воды, проникающие в выработанное при добыче полезных ископаемых подземное пространство и проходящие через водоотлив шахты. Состав подземных вод определяется условиями их образования и залегания.

К поверхностным относят воды рек, озер, водохранилищ, прудов, каналов, морей. Их состав определяют почвенно-геологические условия; климатические, геоморфологические и антропогенные факторы.

К атмосферным водам относят осадки, выпадающие в виде дождя и снега, аккумулирующиеся в естественных или искусственных емкостях. Их состав определяется чистотой атмосферы, количеством; гидрогеологическими

свойствами грунтов бассейна водосбора, способом их накопления и хранения; условиями, сопутствующими их выпадению.

Природная вода – сложная, непрерывно изменяющаяся система. В состав воды входят: соли, преимущественно в виде ионов, молекул и комплексов, органические вещества – в молекулярных соединениях и коллоидном состоянии; газы – в виде молекул и гидратированных соединений; диспергированные примеси; гидробионты (планктон, бентос, нейстон, пагон); бактерии и вирусы. Во взвешенном состоянии в природных водах содержатся глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы; в коллоидном – различные вещества органического происхождения, кремнекислота, гидроксид железа (III), фульвокислоты, гуматы; в истинно растворенном состоянии находятся в основном минеральные соли, обогащающие воду ионами. Качество природных вод весьма разнообразно.

Размеры взвешенных веществ указаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Взвешенные вещества	Размер	Гидравлическая крупность, мм/с	Время осаждения частиц на глубину 1 м
Коллоидные частицы	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-8}$	4 года
Тонкая глина	$1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-6} - 17 \cdot 10^{-5}$	0,5 - 2 мес.
Глина	$27 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	2 сут.
Ил	$5 \cdot 10^{-2} - 27 \cdot 10^{-3}$	1,7 - 0,5	10 - 30 мин.
Песок:			
мелкий	0,1	7	2,5 мин.
средний	0,5	50	20 с
крупный	1,0	100	10 с

С точки зрения водоподготовки наиболее общими и характерными признаками загрязняющих воду веществ являются формы нахождения их в воде. Исходя из этого, Л.А. Кульским предложена классификация примесей воды, основанная на их фазовом состоянии и дисперсности. Эта классификация имеет широкое практическое применение, т.к. дает приемлемое обоснование технологическим приемам водообработки и преследует цель упорядочить выбор состава очистных сооружений. Все примеси разделены на четыре группы.

К первой группе примесей воды относятся взвешенные в воде вещества (от высокодисперсных взвесей до крупных частичек), а также бактериальные взвеси и другие биологические загрязнения. Удалять эти примеси можно как безреагентными, так и реагентными методами.

Вторую группу примесей воды представляют разные типы гидрофильных и гидрофобных коллоидных систем, высокомолекулярные вещества и детергенты, способные в зависимости от условий менять свою агрегативность. Их можно удалять из воды различными методами и технологическими

приемами. Например, обработкой воды коагулянтами, флокулянтами, известью, а также хлором, озоном и другими окислителями. При этом снижается цветность воды, уничтожаются микроорганизмы, разрушаются гидрофильные коллоиды, проявляющие защитные свойства по отношению к гидрофобным примесям воды, тем самым создавая благоприятные условия для последующего коагулирования, ускоряется процесс образования и осаждения хлопьев.

Для третьей группы примесей, являющихся молекулярными растворами, наиболее эффективные процессы, обеспечивающие их удаление из воды, – аэрирование, окисление, адсорбция.

Для четвертой группы примесей, представляющих собой электролиты, технология очистки воды сводится к связыванию реагентами ионов, подлежащих устранению, в малорастворимые и малодиссоциированные соединения. При выборе реагентов целесообразно исходить из произведения растворимости образующихся соединений. Произведением растворимости (ПР) называется произведение концентраций ионов в насыщенном растворе малорастворимого соединения, характеризующее его способность растворяться.

Состав природных вод, концентрации и физико-химические свойства содержащихся в них примесей, являются основополагающими при оценке пригодности воды для использования ее различными категориями потребителей.

Температура поверхностных вод подвержена значительным сезонным колебаниям (от 0,1 до 30°C). Подземные воды имеют более стабильную температуру (8-12°C). Наиболее приемлемой для питьевых нужд является вода с температурой 7-11°C.

Прозрачность, мутность и взвешенные вещества характеризуют наличие в воде суспензированных частиц песка, глины, ила, планктона, водорослей, которые попадают в нее в результате эрозии берегов, с дождевыми и талыми водами, взмучивания осадка со дна и т.п.

Мутность – характеристика обратная прозрачности. Прозрачность воды – это предельная высота столба воды (см), через который можно читать текст, набранный стандартным шрифтом (высота букв 3,5 мм). Прозрачность питьевой воды не должна быть менее 30 см.

Количество взвешенных веществ в воде выражается в миллиграммах на литр по каолину (мг/л) или единицах мутности по формазину (ЕМФ).

В соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода» количество взвешенных веществ в питьевой воде не должно превышать 1,5 мг/л (по формазину 2,6 единицы мутности).

Органические вещества, присутствующие в природных водах, влияют на органолептические показатели их качества. 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.

Гуминовые и фульвокислоты могут находиться в почве в свободном состоянии, в виде солей с катионами щелочных и щелочно-земельных металлов, комплексных и внутрикомплексных соединений с железом, алюминием, марганцем, медью и, наконец, в виде адсорбционных органо-минеральных соединений.

Наземная растительность, высшие водные растения, актино-мицеты и фитопланктон выделяют бесцветные или окрашенные, без запаха или с запахом вещества, часть из которых пре вращается 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.

Цветность воды, т.е. ее окраска, обусловлена присутствием в воде гумусовых и дубильных веществ, жиров, органических кислот и др. органических соединений. Наряду с этим окраска воды может быть вызвана присутствием соединений железа, марганца, сточных вод некоторых производств или «цветением» водоемов.

Наибольшую цветность имеют природные поверхностные воды рек и озер, расположенных в зонах торфяных болот и заболоченных лесов, наименьшую – в лесостепных и степных зонах. Зимой содержание органических веществ в природных водах 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 ее органолептические показатели, вызывая различного рода запахи (землистый, гнилостный, рыбный, болотный, аптечный, камфорный, запах нефтепродуктов, хлорфенольный и т.д.), повышает цветность, вспениваемость, оказывает неблагоприятное действие на организм человека и животных.

Цветность вод измеряется в градусах платино-кобальтовой шкалы. Для питьевой воды она не должна превышать 20 град. Цветность определяют колориметрически, сравнивая цвет пробы с эталонами шкалы цветности, или применяют фотоэлектродетекторы (спектрофотометры) для измерения оптической плотности.

Окисляемость воды обуславливается присутствием органических и некоторых неорганических примесей, таких, как железо (II), сульфиты, сероводород и др.

Различают перманганатную и бихроматную окисляемость. В связи с возросшим антропогенным загрязнением водоемов и повышением окисляемости природных вод, связанной с присутствием хлорорганики, пестицидов, гербицидов, нефтепродуктов, бензола и др. СанПиН 2.1.4.1074-01 ограничивает окисляемость питьевой воды до 5 мгО₂/л. Характерно, что окисляемость воды после коагулирования, отстаивания и фильтрования снижается меньше, чем цветность.

Привкусы и запахи, встречающиеся в природных водах, могут быть естественного или искусственного происхождения. Они зависят от химического состава примесей и температуры.

Запахи и привкусы придают воде сероводород, соли железа, сульфаты кальция (вяжущий) и магния (горький), хлорид натрия (солёный), органические вещества (продукты жизнедеятельности микроорганизмов и водная растительность), а также сбрасываемые сточные воды отдельных предприятий.

К запахам естественного происхождения относят ароматический (огуречный, цветочный); болотный (илистый, тинистый); гнилостный (фекальный, сточный); древесный, землистый, плесневый, рыбный, сероводородный, травянистый и др.

К запахам искусственного происхождения относят фенольный, хлорфенольный, камфорный, бензиновый, хлорный и др.

Различают четыре основных вкуса: солёный, горький, сладкий и кислый. Остальные особенности относят к привкусам.

Интенсивность запахов и привкусов определяют органолептически и выражают по пятибальной шкале. Для питьевой воды по нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 запахи и привкусы не должны превышать двух баллов при 20 °С.

Общая минерализация (сухой остаток) – общее количество веществ (кроме газов), содержащихся в воде в растворённом состоянии. Сухой остаток получают в результате выпаривания профильтрованной воды и высушивания задержанного остатка до постоянной массы. В воде, используемой для хозяйственно-питьевых целей, сухой остаток не должен превышать 1000 мг/л, в особых случаях – 1500 мг/л. Сухой остаток, выраженный в мг/л, равен сумме ионов солей, содержащихся в воде. Наличие заряженных ионов в воде определяет её электропроводность, поэтому солесодержание воды можно также косвенно определить путем измерения электропроводности.

Хлориды и сульфаты благодаря своей высокой растворимости присутствуют во всех природных водах обычно в виде натриевых, кальциевых и магниевых солей. При значительном их содержании вода становится агрессивной по отношению к бетону. Для хозяйственно-питьевой воды предельно допустимое содержание хлоридов Cl^- – 350 мг/л, сульфатов SO_4^{2-} – 500 мг/л.

Щелочность воды определяется суммой содержащихся в воде гидроксильных ионов и анионов слабых кислот – угольной, органических, а также бикарбонатных и карбонатных ионов; измеряется в мг-экв/л.

Жесткость воды обуславливается содержанием в ней солей кальция и магния. Различают карбонатную жесткость (карбонатные и бикарбонатные соли кальция и магния) и некарбонатную (некарбонатные соли кальция и магния – сульфаты, хлориды, нитраты и др.). Сумма карбонатной и некарбонатной жесткости определяет общую жесткость.

Общая жесткость хозяйственно-питьевой воды не должна превышать 7 мг-экв/л, а в особых случаях – 10 мг-экв/л.

Железо и марганец присутствуют в природных водах в формах, зависящих от величины рН, окисляемости и содержания кислорода. Железо может находиться в форме двух – и трехвалентных ионов, органических и неорганических коллоидов, комплексных соединений, в виде тонкодисперсной взвеси, сульфида железа, гидроксида железа (II). В подземных водах при отсутствии кислорода железо и марганец встречаются обычно в форме двухвалентных солей. В поверхностных водах железо и марганец встречаются в виде органических комплексных соединений, коллоидов или тонкодисперсных взвесей.

Вода, содержащая повышенную концентрацию железа неприятна на вкус, причиняет неудобства в быту, оказывает влияние на печень, увеличивает риск инфарктов. Избыток марганца вызывает окраску и вяжущий привкус, заболевание костной системы. Поэтому содержание железа в питьевой воде не должно превышать 0,3 мг/л, а марганца – 0,1 мг/л.

Активная реакция воды является показателем ее щелочности или кислотности и характеризуется концентрацией водородных ионов.

Вода, подаваемая для хозяйственно-питьевых нужд должна иметь рН в пределах 6-9. (рН – отрицательный логарифм концентрации в воде ионов водорода или гидроксидов. Пример рН = 7. Концентрация ионов водорода = 10^{-7} г-ион/л). Для вод большинства природных источников значение рН не отклоняется от указанных пределов.

Азотсодержащие соединения в природных водах могут быть органические и неорганические в виде нитратов NO_3^- , нитритов NO_2^- и аммонийных солей NH_4^+ .

Повышенное количество азота в природной воде в органических соединениях или в аммонийной форме свидетельствует о загрязнении водоисточника сточными водами, как бытовыми, так и производственными. Поэтому в питьевой воде не допускается присутствие органического азота, аммонийного азота и нитритов. В соответствии с СанПиН в питьевой воде допустимое содержание нитратов (по NO_3^-) не должно превышать 45 мг/л.

Фтор является активным в биологическом отношении микроэлементом, содержание которого в питьевой воде должно поддерживаться в пределах 0,7-1,5 мг/л (в зависимости от климатических условий).

Растворенные в воде газы – кислород, углекислый газ, сероводород, метан, азот. Углекислота, кислород и сероводород при определенных условиях коррозионные свойства по отношению к металлам и бетонам.

Углекислота содержится во всех природных водах. В зависимости от рН, она может быть в виде растворенного в воде газа CO_2 , бикарбонат-ионов HCO_3^- , карбонат-ионов CO_3^{2-} .

Кислород попадает в воду при ее контакте с воздухом. Резкое снижение содержания кислорода в воде указывает на ее загрязнение. Растворенный в воде кислород интенсифицирует коррозию металла, поэтому в питательной воде теплоэнергетических установок его концентрация строго ограничивается.

Сероводород придает воде неприятный запах, вызывает коррозию металла. Присутствие H_2S в хозяйственно-питьевой воде не допускается. Сероводород встречается в основном в подземных водоисточниках, 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 или сброса неочищенных сточных вод. В зависимости от величины рН кроме газообразного растворенного H_2S в воде могут присутствовать ионы HS^- и S^{2-} .

Азот в природные воды поступает из воздуха, а также при разложении органических остатков и при восстановлении азота денитрифицирующими бактериями.

Метан обычно присутствует в болотных водах. В природных водах, используемых для водоснабжения, он может присутствовать в незначительных количествах.

Оксид углерода (IV) присутствует во всех природных водах от нескольких мг/л (поверхностные воды) до сотен мг/л (подземные и шахтные воды). Оксид углерода (IV) в сочетании с гидрокарбонатами обуславливает буферные свойства воды. Угольная кислота встречается в природных водах в форме недиссоциированных молекул H_2CO_3 , гидрокарбонатных HCO_3^- и карбонатных CO_3^{2-} ионов.

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, в качестве последней без заметной погрешности принимают концентрацию CO_2 .

В воде поверхностных источников содержание CO_2 не превышает 20-30 мг/л, в подземных неминерализованных водах - 90 мг/л. В подземных водах CO_2 появляется в результате процессов разложения органических соединений, а также в результате биохимических процессов.

Различные формы угольной кислоты в водных растворах связаны так называемым динамическим углекислотным равновесием



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



Избыточная свободная угольная кислота в отличие от равновесной, очень активна и называется агрессивной.

Агрессивные свойства угольной кислоты объясняются ее способностью взаимодействовать с карбонатными породами и переводить их в растворимые в воде гидрокарбонаты

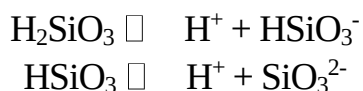


Действие агрессивной угольной кислоты на бетон состоит в растворении карбоната кальция, образующегося при твердении цемента и переходе его в хорошо растворимый гидрокарбонат.

Бор в питьевой воде в концентрации выше 0,5 мг/л негативно воздействует на человека, ухудшая обмен веществ и вызывая заболевание печени и желудочно-кишечного тракта.

Бром в питьевой воде при содержании свыше 0,2 мг/л уменьшает скорость проведения импульса по нервным волокнам, отрицательно сказывается на функции печени и почек, обуславливает снижение калия в крови и увеличивает содержание азота в мочевины.

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. Кремниевая кислота H_2SiO_3 диссоциирует в две стадии:



Содержание кремния в природных водах в пересчете на SiO_3^{2-} - обычно достигает 0,6-40 мг/л и лишь в отдельных случаях может повышаться до 65 мг/л. Кремниевая кислота не вредна для здоровья, однако, повышенное содержание ее в воде делает воду непригодной для питания паровых котлов из-за образования силикатной накипи.

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

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

Стронций в концентрации свыше 7 мг/л вызывает урскую болезнь, рахит, ломкость костей.

Кадмий в питьевой воде при содержании свыше 0,001 мг/л вызывает болезнь «Итай-итай».

При избытке *ртути* в питьевой воде (свыше 0,0005 мг/л) возникает болезнь Минамата.

Цинк в концентрациях свыше 5,0 мг/л угнетает окислительные процессы в организме, вызывает анемию.

Медь в питьевой воде, в концентрации свыше 1 мг/л вызывает заболевание печени, гепатит и анемию.

Молибден при содержании в питьевой воде свыше 0,25 мг/л вызывает подагру и молибденовую болезнь.

В природной воде могут находиться микроэлементы, необходимые для человека, но в высоких концентрациях опасные для его здоровья. Их допустимые концентрации в хозяйственно-питьевой воде указаны в СанПиН 2.1.4.1074-01.

В состав природных вод могут входить также ионы радиоактивных элементов, поступающих в воду в результате вымывания радиоактивных минералов или в результате испытаний атомного оружия и сброса отработанных вод атомных реакторов. СанПиН 2.1.4.1074-01 также ограничивает содержание радиоактивных элементов в питьевой воде.

Токсические вещества. Ионы As^{3+} , As^{5+} , Se^{6+} , Pb^{2+} и многие другие, относящиеся к ядовитым, в природных водах в естественном состоянии встречаются, как правило, в незначительных количествах и попадают в них в больших количествах в результате сброса неочищенных бытовых и промышленных сточных вод. Наличие в воде нескольких миллиграммов на литр ядовитых веществ оказывает вредное влияние на здоровье человека и теплокровных животных, а также губительное действие на рыб и их кормовые ресурсы, тормозит процессы самоочищения водоемов. К этой группе веществ относятся As, Be, Cu, Mo, Pb, Se, Sr, Zn и др., а также некоторые органические вещества.

Гидробионты, населяющие природные воды, в процессе жизнедеятельности влияют не только на состав окружающей водной среды, но и на качество воды. Они подразделяются на планктон - обитатели, пребывающие в толще воды от дна до поверхности; среди них различают плавающие, пассивно парящие и полуподводные (плейтон) организмы; взвешенные в воде остатки их органического и неорганического происхождения называют детритом; бентос - обитатели, находящиеся на дне водоема; среди них встречаются подвижно или неподвижно прикрепленные, свободно лежащие и ползающие по дну организмы, сверлящие дно, закапывающиеся. Нейстон - организмы, населяющие поверхностную пленку воды и адаптировавшиеся к жизни в специфических условиях ее поверхностного натяжения; пагон - организмы (моллюски, ракообразные, коловратки и др.), пребывающие зимой в толще льда в состоянии анабиоза, оживающие весной и находящиеся среди бентоса или планктона.

На процессы формирования качества воды и ее самоочищения гидрофагия оказывает значительное влияние, так как многие ее представители (зоопланктон и зообентос) используют растворенные органические вещества, некоторые животные - фильтраторы употребляют для питания бактерии, водоросли и т. п.

Гидрофлора водоемов определяется *макрофитами* (высшая водная растительность) и *микрофитами* (водоросли - фитопланктон и фитобентос). При отмирании и разложении макрофитов вода обогащается органическими веществами, появляются пахнущие вещества, которые ухудшают органолептические показатели качества воды.

Микрофиты, подразделяемые на зеленые, сине-зеленые, эвгленовые, диатомовые и др., не только поглощают углекислоту, кислород (а сине-зеленые - азот, включая аммиак), но и продуцируют кислород. Массовое развитие микрофитов в периоды цветения воды создает значительные трудности в технологии улучшения ее качества, особенно для питьевых целей, так как возникает необходимость в дезодорации и микрофильтрации воды.

В природной и питьевой воде определяют фитопланктон – содержание микроводорослей (клеток на 1 мл) и зоопланктон – содержание простейших, ракообразных, коловраток, личинок насекомых и пр. (организмов на 1 м³). Фито- и зоопланктон не нормируется СанПиП, но их содержание в очищенной воде ограничивается и контролируется на станциях водоподготовки.

Бактерии и вирусы из числа патогенных, т.е. паразитов, живущих на живом субстрате, развивающихся в воде, могут вызвать заболевания брюшным тифом, паратифом, дизентерией, бурцеллезом, инфекционным гепатитом, острым гастроэнтеритом, сибирской язвой, холерой, полиомиелитом, туляремией, конъюнктивитом и т.д.

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

Бактерии и вирусы могут интенсивно развиваться в воде. В соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям. Для питьевой воды определяются микробиологические показатели: общее микробное число ОМЧ (количество колоний бактерий в 1 мл) – не более 50; общие и термотолерантные колиформные бактерии (ОКБ и ТКБ) – отсутствие в 100 мл; колифаги – отсутствие бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл;

При обнаружении в повторной пробе воды вышеперечисленных загрязнений проводятся исследования на наличие патогенных бактерий и вирусов определением цист лямблий (в питьевой воде – отсутствие в 50 л воды) и спор сульфитредуцирующих клостридий (в питьевой воде – отсутствие в 20 мл).

Общее микробное число (ОМЧ) – это число аэробных и факультативно анаэробных гетеротрофных микроорганизмов, использующих для питания органические вещества, обладающих свойством образовывать колонии на

питательном агаре, при температуре $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ в течение 24 ч, видимые при двукратном увеличении. ОМЧ служит санитарно-микробиологическим показателем общего уровня микробного заражения объектов окружающей среды, в том числе воды.

Колиформные организмы являются удобными микробными индикаторами качества питьевой воды и в этом качестве применяются уже много лет. Связано это, в первую очередь, с тем, что они легко поддаются обнаружению и количественному подсчету.

Термин «колиформные организмы» (или «колиформные бактерии») относится к классу грамотрицательных бактерий, имеющих форму палочек, в основном живущих и размножающихся в нижнем отделе пищеварительного тракта человека и большинства теплокровных животных (например, домашнего скота и водоплавающих птиц).

Кишечная палочка (*Escherichia coli*, или просто *E.coli*) свидетельствует о фекальном загрязнении воды, вызывает кишечные расстройства, протекающие по типу острой дизентерии. *E.coli* обладает одним из самых высоких коэффициентов сопротивляемости среди энтеробактерий.

К бактериям группы ТКБ относятся также отдельные виды *Klebsiella*, *Enterobacter* и *Citrobacter*.

Колиформные бактерии определяются как грамотрицательные, оксидазоотрицательные, не образующие спор палочки, обладающие свойством образовывать колонии в аэробных условиях на селективной дифференциальной лактозной среде с образованием кислоты при температуре $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ в течение (24 ± 3) ч.

Колифаги – это бактериофаги (вирусы бактерий), способные инфицировать *E.coli* и родственные ей бактерии. Поэтому наличие колифагов свидетельствует о присутствии бактерий-хозяев, а значит, о факте фекального загрязнения воды. Поскольку вирусы (включая бактериофагов) более устойчивы к неблагоприятным условиям окружающей среды, колифаги продолжают обнаруживаться даже тогда, когда самих бактерий-хозяев уже нет. Обнаружение колифагов в пробе воды будет свидетельствовать об имевшем место фекальном загрязнении. Колифаги не встречаются в большом количестве в свежих фекалиях человека и животных, но они широко распространены в сточных водах, поэтому колифаги важны как индикаторы загрязнения воды сточными водами. Учитывая более высокую устойчивость колифагов к неблагоприятным факторам внешней среды (в том числе к дезинфицирующим мероприятиям), их используют как дополнительный индикатор эффективности водоподготовки. Кроме того, колифаги предложены как индикаторный показатель возможного наличия патогенных энтеровирусов из-за сходства их устойчивости к дезинфицирующим мероприятиям вообще и, в частности, к хлорированию воды.

Международные стандарты рекомендуют отдельное определение количества ДНК и РНК-содержащих бактериофагов ввиду их разной диагностической значимости. Отечественная методика подразумевает определение сразу обеих

групп колифагов. Для этой цели используется модельный штамм *E. coli* K12 (F+ или Hfr), устойчивый к стрептомицину (strR).

Цисты лямблий – это одна из стадий жизненного цикла лямблий – рода жгутиковых протистов из отряда дипломонадид (*Diplomonadida*). К лямблиям относится один из видов этого рода – кишечная лямблия *Lamblia intestinalis* (синонимы: *Giardia lamblia*, *Giardia intestinalis*, *Giardia duodenalis*) – возбудитель лямблиоза человека. Лямблии паразитируют в тонком кишечнике человека и многих других млекопитающих, а также птиц.

Лямблиоз – протозойное заболевание с различными вариантами течения: бессимптомным и манифестным, со спонтанной элиминацией паразитов или элиминацией, наступающей только после специфической терапии; возможно длительное персистирование паразитов, часто трудно поддающееся специфической терапии. Существует около 40 видов лямблий. Помимо человека, этот вид лямблий может быть обнаружен у различных млекопитающих, а также птиц и рептилий. Некоторые из животных, вероятно, являются резервуаром этой инфекции для человека. Впервые этот возбудитель был обнаружен в фекалиях человека с диареей и описан А.В. Левенгуком в 1681 году. А впоследствии более подробно – в 1859 году патологоанатомом Харьковского университета, профессором Д. Лямблем.

Факторами передачи возбудителя являются – грязные руки, вода, пища, содержащие цисты лямблий. Насекомые (мухи, тараканы, мучные хрущаки, навозные жуки) также могут способствовать распространению цист лямблий. Механизм передачи инвазии – фекальнооральный. Пути передачи – контактно-бытовой, водный, пищевой.

Основным путем передачи считается водный. До 30% манифестных форм связано с данным путем передачи. Реализуется через водопроводную воду, воду открытых водоемов, бассейнов. Водные вспышки могут возникать при попадании в питьевую воду сточных вод.

Цисты лямблий устойчивы и способны сохраняться во внешней среде до 60-70 дней при условии увлажнения. Оптимальными являются температура 2-6°C и относительная влажность воздуха 80-100%. В водопроводной и прудовой воде цисты лямблий выживают в течение 1-3 месяцев при температуре воды от 4 до 20 °C. В сточной воде в летнее время цисты лямблий выживают до 3-4 месяцев. На продуктах питания цисты сохраняются жизнеспособными несколько часов, а при большой влажности продукта и до нескольких суток. Кипячение приводит к мгновенной гибели цист, при температуре 55°C цисты погибают через 5 минут. Высушивание на воздухе в течение 24 ч приводит к полной гибели цист лямблий. Обычные концентрации хлора и время его контакта, рекомендуемые для бактериального обеззараживания воды, неэффективны по отношению к цистам лямблий. Они отличаются высокой кислотоустойчивостью, устойчивостью к щелочам и дезинфицирующим средствам. Водный раствор лизола и нафтализолола в 5% концентрации убивает цисты в фекалиях через 30 мин, 2% раствор лизола – в течение 1 часа. Пищевой уксус убивает их в течение 5-10 мин.

Сульфитредуцирующие клостридии (СРК) – это крупные грамположительные спорообразующие палочки, у которых диаметр спор превышает диаметр вегетативной клетки, облигатные анаэробы. Данная группа клостридий обладает свойством восстанавливать сульфиты до сульфидов, что используется при их идентификации. Поскольку способностью редуцировать сульфиты обладают только споровые анаэробы кишечного происхождения, это позволило выделить данную группу микроорганизмов как санитарно-показательную. Доминирующим представителем СРК является *Clostridium perfringens*. Эта бактерия является постоянным консорбентом кишечного тракта, хотя ее численность значительно ниже, чем *E. coli*. Споры СРК имеют высокую устойчивость в окружающей среде, поэтому их обнаружение в воде может свидетельствовать о давнем фекальном загрязнении. Однако, учитывая, что СРК способны при благоприятных условиях размножаться в окружающей среде (особенно в почве), ценность спор СРК как показателя фекального загрязнения не высока. В то же время, высокая устойчивость спор к агрессивным воздействиям внешней среды и, в том числе, к дезинфицирующим и стерилизующим приемам, делает споры СРК важным индикатором оценки качества обеззараживания воды. При нарушениях и отклонениях в технологии обеззараживания спорообразующие клостридии – первые из бактерий, преодолевающие этот барьер. Кроме того, СРК относятся к индикаторам биологического загрязнения воды: наличие их спор будет указывать на возможное присутствие сходных по устойчивости цист и ооцист простейших и жизнеспособных яиц гельминтов.

В РФ количественный учет спор СРК предусмотрен при санитарных исследованиях воды открытых водоемов и контроле качества водоподготовки. Для определения спор СРК используют железосульфитный агар (среду Вильсон-Блер). В настоящее время для выделения и учета спор СРК существуют коммерческие высокочувствительные и высокоспецифичные среды.

На большинстве производств бактериальное загрязнение воды не препятствует ее использованию для технических целей. Исключение составляют предприятия, для которых требуется вода питьевого качества.

1.1.3. Требования к качеству очищенной воды для различных категорий водопотребителей

Основными показателями, определяющими пригодность воды для разных категорий водопотребителей, являются состав и концентрация содержащихся в ней примесей. По специфике требований к качеству очищенной воды различают воду, используемую для хозяйственно-питьевых целей; нужд пищевой и бродильной промышленности; поения домашних животных и птиц; орошения; охлаждения элементов технологических агрегатов в теплоэнергетике

и других отраслях народного хозяйства; питания паровых котлов; технологических целей промышленности; заводнения нефтяных пластов и др.

Хозяйственно-питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения и правила контроля качества воды, производимой и подаваемой системами питьевого водоснабжения населенных мест в России, устанавливаются по СанПиН 2.1.4.1074-01. В мировой практике используются нормативы всемирной организации здравоохранения ВОЗ и развитых государств с высоким научно-техническим потенциалом: США, Франции, Германии и др.

Таблица 1.2

Наименование вещества	Синонимы	Величина норматива в мг/л	Показатель вредности	Класс опасности
Неорганические вещества				
1. Элементы, катионы				
Серебро		0,05	с-т	2
Кобальт		0,1	с-т	2
Аммиак (по азоту)		2,0	с-т	3
Хром		0,5	с-т	3
Кремний		10,0	с-т	2
Натрий		200,0	с-т	2
2. Анионы				
Бромид-ион		0,2	с-т	2
Нитрит-ион		3,0	орг.	2
Сероводород	Водорода сульфит	0,003	орг. зап	4

В соответствии с Федеральным законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» за качеством питьевой воды должен осуществляться государственный санитарно-эпидемиологический надзор и производственный контроль. Количество, виды и периодичность отбора проб воды из водоисточников, а также перед поступлением питьевой воды в распределительную сеть, устанавливается в соответствии с табл. 6 и 7 СанПиН 2.1.4.1074-01. В качестве примера в табл. 1.2. приведены некоторые гигиенические нормативы содержания вредных веществ в питьевой воде. В четвертой колонке указан лимитирующий признак вредности веществ, по которому установлен норматив:

- с.-т – санитарно-токсикологический;
- орг. – органолептический с расшифровкой характера изменения органолептических свойств воды (зап. – изменяет запах воды и т.д.).

В пятой колонке указан класс опасности вещества:

- 1 класс – чрезвычайно опасные;
- 2 класс – высокоопасные;
- 3 класс – опасные;
- 4 класс – умеренно-опасные.

Питьевая вода должна быть для человека безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу.

Вода для технологических нужд промышленности в зависимости от ее целевого использования должна отвечать самым разнообразным требованиям. Так, в воде, используемой в горнодобывающей промышленности при добыче, отмывке, гидротранспорте, обогащении и сортировке полезных ископаемых, должны отсутствовать грубые взвешенные частицы. Весьма специфические требования предъявляют к воде, применяемой для обработки готовой продукции, а также к воде, входящей в состав продукта.

Ряд промышленных предприятий предъявляет к воде требования, значительно превышающие лимиты СанПиН 2.1.4.1074-01. Так, в воде, идущей на изготовление кино- и фотопленки, фотобумаги, не должно содержаться марганца, железа, кремнекислоты, ограничивается окисляемость воды и содержание хлоридов. В воде, применяемой для изготовления растворов кислот и щелочей, красителей и мыла, жесткость, должна быть не более 0,35 мг-экв/л.

Вода для нужд сельского хозяйства (птице- и зооферм, для орошения, мелиорации и др.) по своему качеству должна соответствовать целевому назначению. Для водопоя птиц, зверей и животных на фермах следует подавать воду питьевого качества. При невозможности соблюдения этого требования допускается кратковременно производить водопой животных водой с повышенным минеральным составом, а именно: сухой остаток до $5 \cdot 10^3$, хлориды до $2 \cdot 10^3$, сульфаты до $2,4 \cdot 10^3$ мг/л, общая жесткость до 45 мг-экв/л. Допускается использование воды с повышенной цветностью, с привкусом и запахом, при ее температуре 8-15 °С.

Вода, используемая в прямоточных и оборотных системах водоснабжения, должна удовлетворять требованиям к ее качеству, которые зависят в свою очередь от технологии основных и вспомогательных производств и конструктивных особенностей аппаратов, установок и сооружений, в которых она присутствует и потребляется.

В оборотной и добавочной воде систем охлаждения основными ионами, которые могут приводить к отложениям солей, являются: анионы – бикарбонаты, карбонаты, гидроокиси, фосфаты, сульфаты, силикаты; катионы – кальций, магний, алюминий, железо, цинк.

В большинстве оборотных систем теплообменного водоснабжения карбонатная жесткость воды не должна превышать 2,8-3,0 ммоль/л. Вода не должна вызывать коррозии углеродистой стали и других-металлов, используемых в теплообменной аппаратуре и коммуникациях.

В воде, применяемой для охлаждения различных агрегатов на промышленных предприятиях, содержание взвешенных веществ в воде, подаваемой в конденсаторы, переохладители и компрессоры, не должно

превышать 2 мг/л. В воде, поступающей в холодильники на заводах азотной промышленности, содержание взвесей может находиться в пределах 10-50 мг/л, но при этом строго ограничивается щелочность, которая не должна превышать 2-3 ммоль/л, так как в противном случае начнется интенсивная инкрустация теплообменных поверхностей. В этой воде также не должны содержаться биогенные элементы (азот, фосфор), способствующие интенсивному развитию биологических обрастаний.

Высокие требования предъявляются к питательной энергетической воде, зависящие от давления в парогенераторе. К технологической воде, непосредственно контактирующей с сырьем, продукцией, отходящими газами и другими материальными потоками производства, каждое производство предъявляет свои специфические требования.

1.2. Основные технологические процессы и методы обработки воды

1.2.1. Нормативные документы, регламентирующие технические и технологические решения и требования к проектированию, строительству и эксплуатации сооружений очистки природных вод

При проектировании станций водоподготовки, в первую очередь следует руководствоваться СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*» (далее по тексту СП) и СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения».

Также при проектировании станций водоподготовки и их отдельных элементов следует учитывать следующие нормативные документы:

СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.

СП 2.1.5.1059-01. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01. Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных мест. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*.

При эксплуатации станций водоподготовки используют следующую нормативно-правовую документацию:

ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.

ГОСТ Р 56237-2014 (ИСО 5667-5:2006) Вода питьевая. Отбор проб на станциях водоподготовки и в трубопроводных распределительных системах.

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

ГОСТ Р ИСО 5725-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Части 1-6.

Правила пользования системами коммунального водоснабжения и канализации в Российской Федерации (с изменениями на 14 октября 2015 года). Утверждены Постановлением Правительством Российской Федерации от 12 февраля 1999 года №167.

МДК 3-02.2001. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации.

Положение о проведении планово-предупредительного ремонта на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства. М, Госстрой России, 2000.

ВСН 58-88(р)/Госкомархитектуры Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения.

Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением (с изменениями на 12 декабря 2017 года). Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 года № 116.

ГОСТ 22.3.01-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Жизнеобеспечение населения в чрезвычайных ситуациях. Общие требования (аутентичен ГОСТ Р 22.3.01-94).

ГОСТ 22.3.03-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения (аутентичен ГОСТ Р 22.3.03-94).

ВСН ВК4-90. Инструкция по подготовке и работе систем хозяйственно-питьевого водоснабжения в чрезвычайных ситуациях.

ГОСТ 12.3.006-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Эксплуатация водопроводных и канализационных сооружений и сетей. Общие требования безопасности.

Правила по охране труда при эксплуатации коммунального водопроводно-канализационного хозяйства. Утверждены приказом Минземстроя от 22.09.98 №93.

Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации водопроводно-канализационного хозяйства. Утверждены Постановлением Министерства труда и социального развития России от 16 августа 2002 г. №61.

Рекомендации по нормированию труда работников водопроводно-канализационного хозяйства. Утверждены приказом Государственного комитета Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике от 22 марта 1999 года №66.

Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (с изменениями на 15 ноября 2018 года). Утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24 июля 2013 года №328н (с изменениями на 15 ноября 2018 года).

1.2.2. Выбор технологической схемы обработки воды

Существующие методы обработки воды классифицируются по достигаемой цели очистки, связанной с нормами качества на очищенную воду и по характеристике фазово-дисперсного состава, извлекаемых из воды примесей при ее обработке на водоочистных водопроводных станциях.

Методы водоочистки по целевому назначению используются для:

- улучшения органолептических свойств воды (осветление, обесцвечивание, дезодорация);
- обеспечения эпидемиологической безопасности (хлорирование, озонирование, электроимпульсная обработка, ультрафиолетовое облучение);
- кондиционирования подземных вод (умягчение, обессоливание и опреснение, дегазация, обезжелезивание и деманганация, фторирование и обесфторивание, стабилизационная обработка, обескремнивание и т.д.);
- извлечения и улучшения газового состава (удаление сероводорода, кислорода, метана, свободной углекислоты и др.);
- извлечение трудноокисляемой органики, вредных продуктов, образующихся попутно при обработке воды (обратный осмос, биосорбция, нанофильтрация и др.).

Методы очистки по сути процессов и природе удаляемых веществ:

- при физико-химических процессах удаляются взвешенные и коллоидные вещества (коагуляция и флокуляция, осаждение и осветление, флотация, фильтрование), растворенные вещества (мембранная сепарация, адсорбция, ионный обмен);
- при химических процессах осуществляется введение химического реагента в обрабатываемую воду и осаждение примесей, протекают реакции нейтрализации окисления и восстановления;
- биологические процессы протекают при аэробной и анаэробной обработке воды, характеризуются бактериальным окислением-восстановлением.

Методы очистки воды по отдельным процессам извлечения или снижения концентрации примесей:

- методы умягчения воды – термический, реагентный, ионообменный, диализ и комбинированный;
- методы обессоливания воды – ионообменный, мембранный (обратный осмос и электродиализ) и дистилляция;
- методы дегазации воды – физический, химический, биохимический и сорбционно-обменный;
- методы стабилизационной обработки воды – фильтрационный, реагентный и аэрационный.

Кульским Л.А. предложен перечень водоочистных процессов для извлечения из очищаемой воды различных групп примесей. Способность примесей воды изменять свое фазово-дисперсное состояние под влиянием физических и химических факторов (в первую очередь, таких как солевой

состав, температура, pH среды и другие) позволяет широко варьировать приемы и методы регулирования процессов обработки воды.

Таблица 1.3

Водоочистные процессы для извлечения различных групп примесей в зависимости от их размеров

Гетерогенные системы		Гомогенные системы	
Группа I (10^{-2} - 10^{-5} см)	Группа II (10^{-5} - 10^{-6} см)	Группа III (10^{-6} - 10^{-7} см)	Группа IV (10^{-7} - 10^{-8} см)
Механическое безреагентное разделение	Мембранное разделение	Адсорбция газов и летучих органических соединений	Разделение воды и ионов мембранными методами
Окисление хлором, озоном и др.	Окисление хлором, озоном и др.	Окисление хлором, двуокисью хлора, озоном, перманганатом калия	Перевод ионов в малорастворимые соединения, в том числе и окислением
Флотация суспензий и эмульсий	Коагуляция коллоидных примесей	Экстракция органическими растворителями	Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды
Адгезия на гидроокисях алюминия и железа и высокодисперсных материалах	Адсорбция на гидроокисях алюминия, железа и на глинистых минералах	Адсорбция на активированных углях и других материалах	Фиксация ионов на твердой фазе ионитов
Агрегация с помощью флокулянтов	Агрегация с помощью флокулянтов катионного типа	Ассоциация молекул	Перевод ионов в малодиссоциированные соединения
Электрофильтрация суспензий и электроудерживание микроорганизмов	Электрофорез и электродиализ	Поляризация молекул в электрическом поле	Использование подвижности ионов в электрическом поле
Бактерицидное воздействие на патогенные микроорганизмы и споры	Вирулицидное воздействие	Биохимический распад	Микробное выделение ионов металлов

Таблица 1.4

**Область применения технологических схем осветления и обеззараживания
поверхностных вод для хозяйственно-питьевых целей**

Качество исходной воды			Производительность станций*, м³/сут	Технологическая схема и состав сооружений
Взвешенные вещества, мг/л	Цветность, град.	Общее микробное число		
Безреагентные технологии				
< 50	< 50	> 50	1 000	медленные фильтры-обеззараживание
50...700	< 50	> 50	30 000	гидроциклоны-медленные фильтры с рыхлением загрузки и гидросмывом-обеззараживание
> 700	< 50	> 100	любая	гидроциклоны (сетки)-префильтры (отстойники-ковши)-медленные фильтры с гидросмывом и рыхлением загрузки-обеззараживание
Реагентные технологии				
< 30	< 50	> 50	5000-10000	реагентное хозяйство-скорые напорные фильтры-обеззараживание
< 20	< 50	> 50	5000-50000	реагентное хозяйство-скорые напорные фильтры-обеззараживание
< 70	< 70	> 50	любая	реагентное хозяйство-контактные осветлители-обеззараживание
< 250	< 250	> 50	любая	реагентное хозяйство-флотаторы-скорые открытые фильтры-обеззараживание
< 2500	< 500	> 50	любая	реагентное хозяйство-горизонтальные отстойники (осветлители со взвешенным осадком) – скорые открытые фильтры-обеззараживание
> 2500	< 500	> 50	любая	первичные отстойники-реагентное хозяйство-вторичные отстойники-двухступенные фильтры-обеззараживание

* уточняется ТЭО

При составлении схемы водообработки следует выбирать методы и режимы, наиболее эффективные для удаления примесей каждой из групп. Желательна предварительная лабораторная проверка и сравнительная технико-экономическая оценка нескольких вариантов.

Совокупность технологических процессов и сооружений составляет **технологическую схему** очистки и кондиционирования воды.

Для 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 того, необходимо проведение предварительных технологических испытаний для обоснования назначаемых параметров работы блоков в целом и отдельных сооружений.

На практике принято различать технологические схемы очистки воды по:

- применению реагентов – безреагентные и реагентные;
- эффекту осветления – для глубокого и неглубокого осветления воды;
- числу технологических процессов – одно-, двух- и многопроцессные;
- числу ступеней технологического процесса – одно-, двух- и многоступенчатые;
- характеру движения обрабатываемой воды – самотечные (безнапорные) и напорные.

Технологические схемы реагентной очистки представлены ниже.

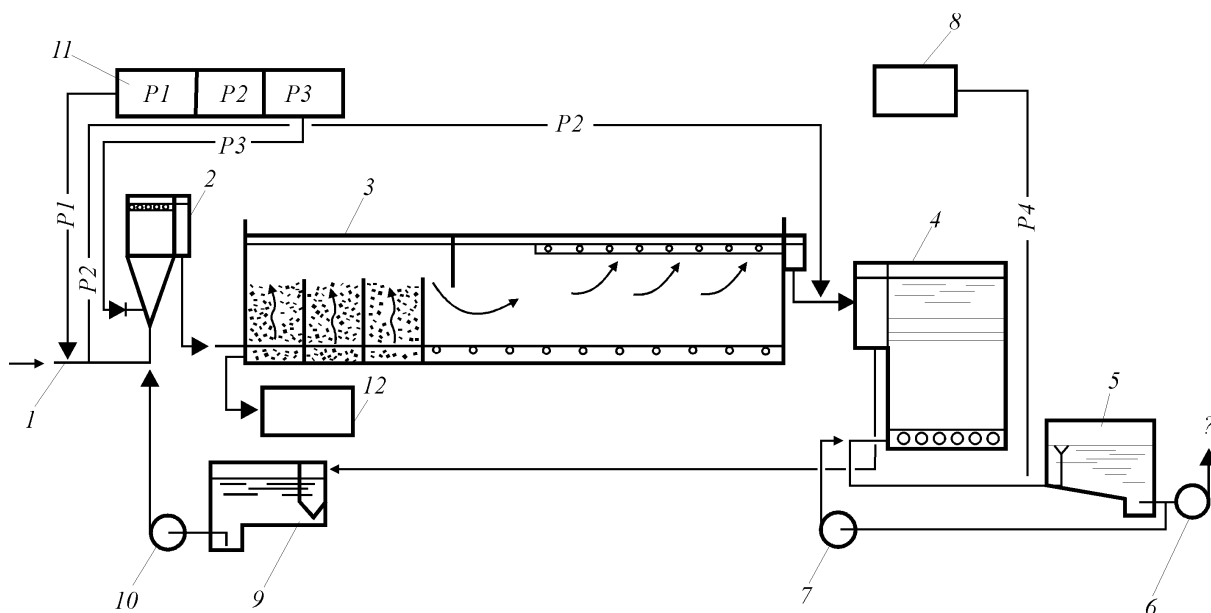


Рис. 1.1. Технологическая схема подготовки питьевой воды с горизонтальными отстойниками и скорыми фильтрами:

1 – подача исходной воды; 2 – смесители вихревые; 3 – отстойники горизонтальные со встроенной камерой хлопьеобразования; 4 – скорые фильтры; 5 – резервуары чистой воды; 6 – насосная станция II подъема; 7 – промывные насосы; 8 – хлораторная; 9 – резервуары усреднители; 10 – насосы для подачи промывной воды на повторное использование; 11 – реагентные хозяйства; 12 – сооружения для обработки осадка; p1 – коагулянт; p2 – флокулянт; p3 – подщелачивающий реагент; p4 – хлор

В двухступенчатых схемах на первой ступени применяются отстойники, осветлители со взвешенным осадком или флотаторы, а на второй – скорые фильтры, обеспечивающие полное осветление воды. Такие схемы позволяют получить воду питьевого качества при значительных колебаниях состава исходной воды. В них достаточно просто решается проблема повторного использования промывных вод фильтров. Сооружения с горизонтальными отстойниками рекомендуются для систем с производительностью более 30 тыс. м³/сут. Отстойники с тонкослойными модулями могут использоваться при любой (в том числе, малой) производительности. Осветлители со взвешенным осадком применяются на станциях любой производительности при соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом осветлители со взвешенным осадком не рекомендуется применять при мутности исходной воды менее 50 мг/л. Схема с напорными флотаторами и скорыми фильтрами применяется при осветлении и обесцвечивании маломутных цветных вод, при коагуляции которых образуются не очень плотные рыхлые хлопья, практически не осаждающиеся в отстойниках. Одноступенчатая схема с контактными осветлителями применяется при мутности воды, поступающей на сооружения, не превышающей 70 мг/л и цветности до 70 град.

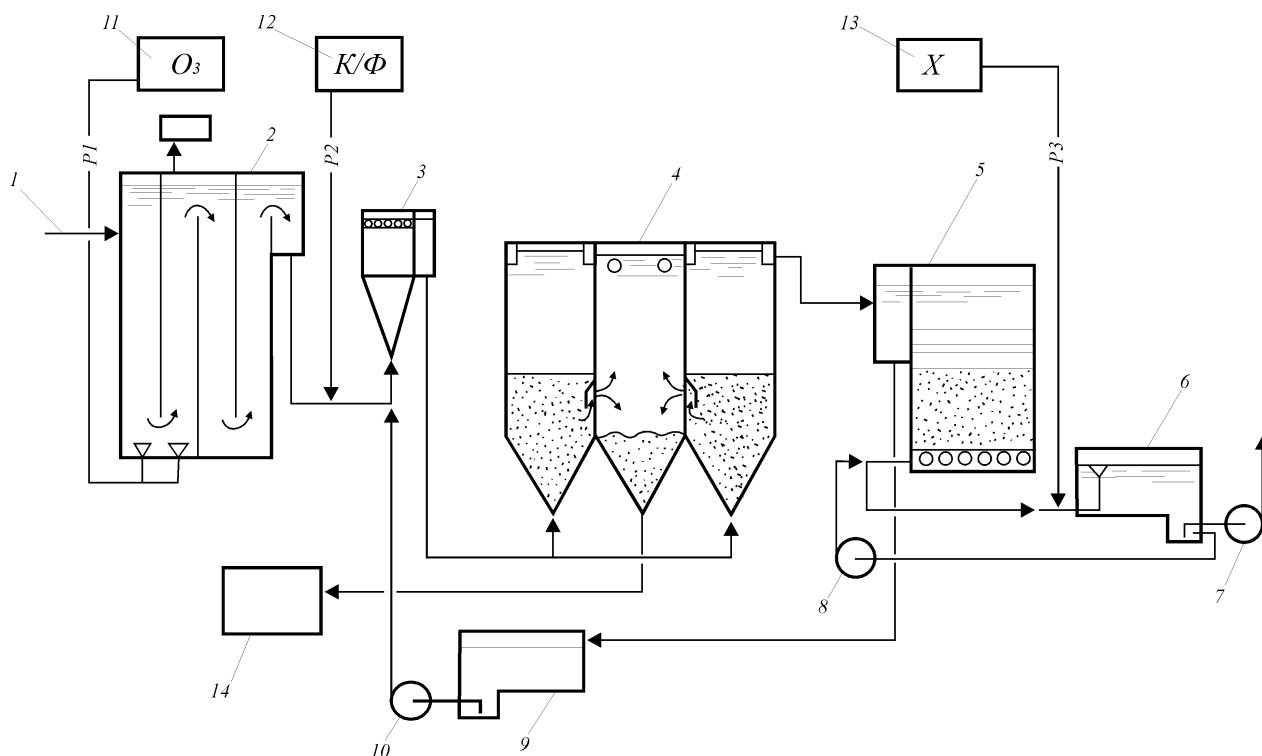


Рис. 1.2. Технологическая схема подготовки питьевой воды с осветлителями со взвешенным осадком и скорыми фильтрами:

1 – подача исходной воды; 2 – контактные резервуары; 3 – смесители вихревые; 4 – осветлители со взвешенным осадком; 5 – скорые фильтры; 6 – резервуары чистой воды; 7 – насосная станция II подъема; 8 – промывные насосы; 9 – резервуары усреднители; 10 – насосы для подачи промывной воды на повторное использование; 11 – озонаторная; 12 – реагентное хозяйство; 13 – хлораторная; 14 – сооружения для обработки осадка; p1 – озон; p2 – коагулянт; p3 – хлор

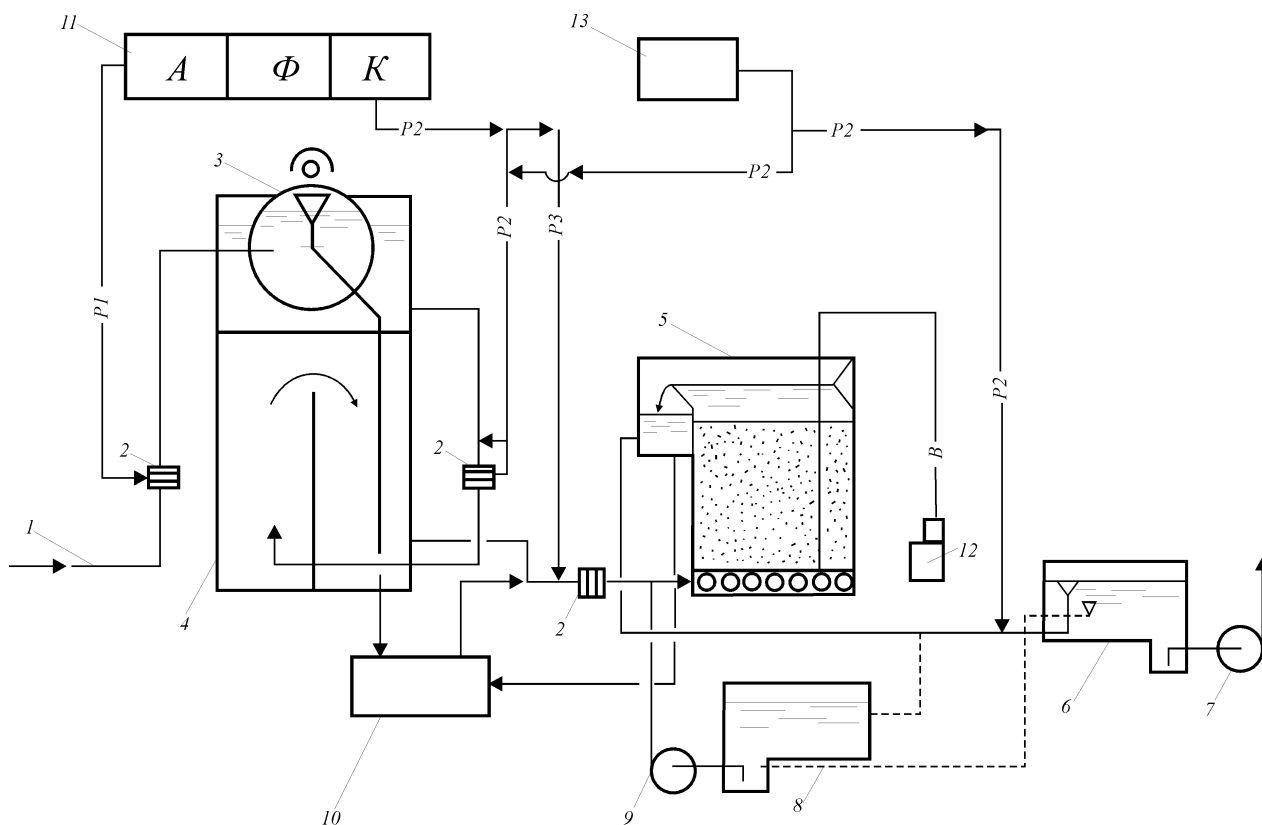


Рис. 1.3. Технологическая схема подготовки питьевой воды с контактными осветлителями: 1 – подача исходной воды; 2 – смесители шайбовые; 3 – барабанные сетки или микрофильтры; 4 – контактные резервуары; 5 – контактные осветлители; 6 – резервуары чистой воды; 7 – насосная станция II подъема; 8 – хлораторная; 9 – промывные насосы; 10 – сооружения для обработки промывной воды и осадка; 11 – реагентное хозяйство; 12 – воздуходувки; 13 – резервуар чистой промывной воды; p1 – аммиак; p2 – коагулянт; p3 – хлор; p4 – флокулянт; В – сжатый воздух

Для небольших населенных пунктов, питающихся водой, цветность которой в течение года не превышает 50 град., а взвешенные вещества в ней не обладают высокой кинетической и агрегативной устойчивостью, возможно применение безреагентных технологий. Такие технологии базируются на использовании сооружений предварительного осветления воды на гидроциклонах, сетчатых фильтрах различных конструкций, в ковшах-отстойниках, на предварительных фильтрах с зернистой загрузкой. Глубокая доочистка воды в таких схемах осуществляется на медленных фильтрах.

Для очистки природных вод с малой и средней мутностью и цветностью можно использовать технологическую схему с реагентной обработкой и ультрафильтрацией. Производительность сооружений может быть любая. В зависимости от качества исходной воды возможно включение в технологическую схему отстойников или осветлителей со взвешенным осадком, а при обосновании – скорых фильтров.

Подземные воды, используемые в качестве источников водоснабжения, отличаются от поверхностных значительно большим разнообразием по их качественному составу. Они менее подвержены сезонным колебаниям, связанным с изменением климата и воздействием загрязненности селитебных прилегающих территорий.

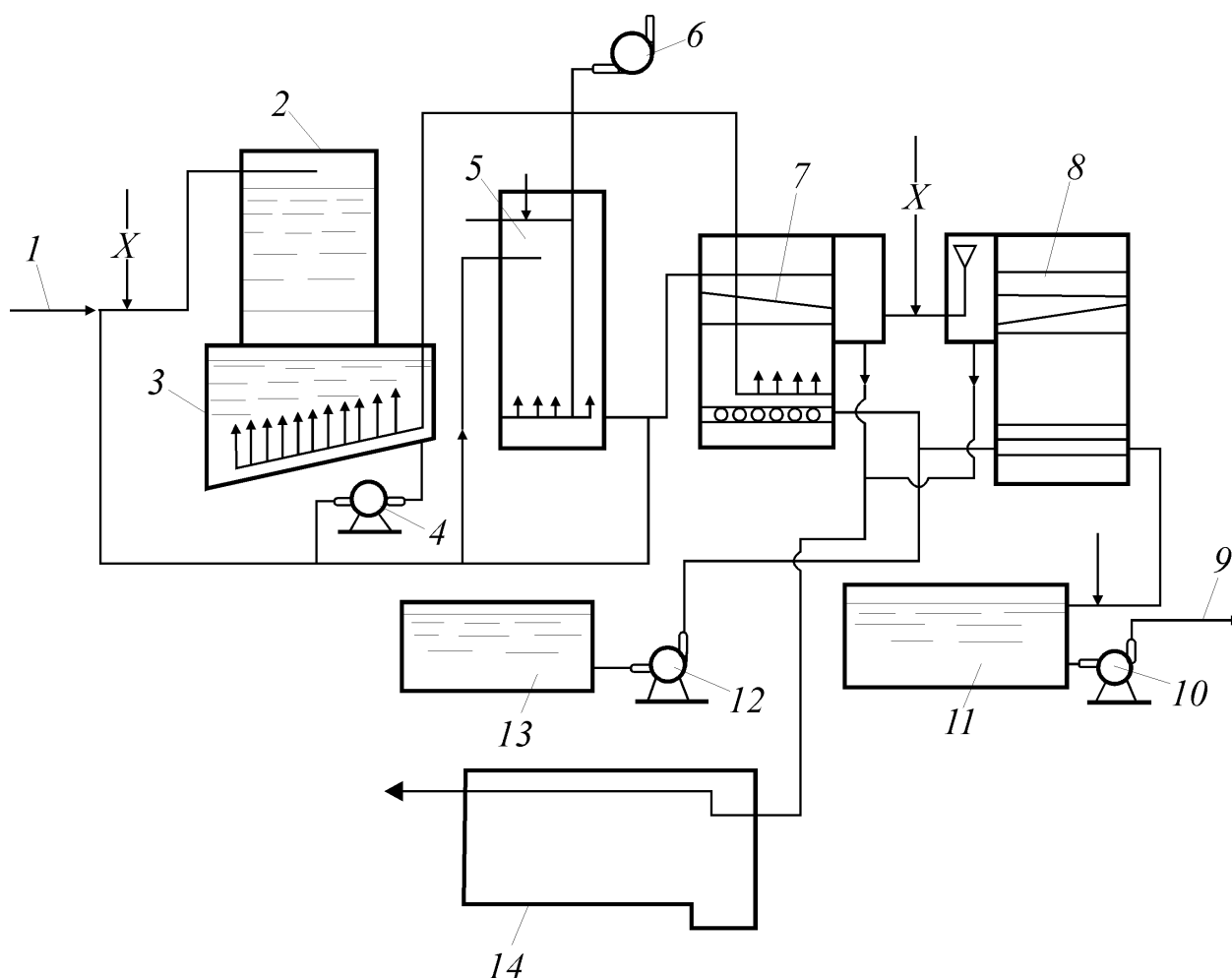


Рис. 1.4. Технологическая схема кондиционирования подземных вод сложного состава:
 1 и 9 – подача и отвод обработанной воды; 2 – аэрактор – дегазатор; 3 – отстойник; 4 – насос подкачки; 5 – аэрактор-смеситель; 6 – компрессор; 7 – осветлительный фильтр; 8 – сорбционный фильтр; 10 – насосная станция II подъема; 11 – РЧВ; 12 – промывной насос; 13 – резервуар промывной воды; 14 – резервуар сбора промывных вод после фильтров; X – ввод хлора

Сложный физико-химический состав подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, обуславливает многообразие специальных методов их обработки и технологических схем очистки и кондиционирования воды. Область применения той или иной технологии обусловлена заданным интервалом концентраций основных показателей качества подземной воды, выражаемых в мг/л: Fe, Mn, H_2S , $CO_{2,св}$, F, SO_4^{2-} , pH, J_k (мг-экв/л) и перманганатная окисляемость (mgO_2/l). Пример технологической схемы кондиционирования подземной воды приведен ниже.

Для очистки подземных вод от железа, марганца, ионов жесткости, тяжелых металлов, микроэлементов может использоваться нанофильтрация (обратный осмос) как отдельно, так и в комбинации с другими методами обработки.

Выбор водоочистных методов в условиях повышенных требований к качеству питьевой воды, дефицита финансирования на ввод в эксплуатацию новых мощностей водопроводов и не снижающихся антропогенных нагрузок на

водоисточники, является доминирующим при проектировании новых и реконструкции существующих станций подготовки воды. Он производится на основе: сопоставления качества исходной воды, требований к степени ее очистки; потенциальных возможностей включаемых в технологическую схему очистки сооружений и устройств, реагентов и материалов.

При этом должны соблюдаться требования, предъявляемые к технологиям и сооружениям, а окончательное решение должно приниматься на основании расчета технико-экономических показателей и определенных оптимальных режимов работы сооружений в разные периоды года.

Ориентировочный выбор технологической схемы должен осуществляться по классификаторам технологий очистки поверхностных и подземных вод.

1.2.3. Пример современной станции водоподготовки

В качестве примера можно рассмотреть современную технологическую схему очистки воды на Западной станции водоподготовки, введенную в эксплуатацию в Москве. Западная станция обеспечивает питьевой водой юго-западные и южные районы г. Москвы. Проектная производительность очистных сооружений Западной станции водоподготовки составляет 1700 тыс.м³/сут. Комплекс очистных сооружений станции состоит из двух блоков, запроектированных институтом «МосводоканалНИИпроект» и построенных в 1960-1987 гг.:

- блок №1 – Западная станция водоподготовки (ЗСВ) (введена в эксплуатацию 7 октября 1964 г., проектная производительность 900 тыс. м³/сут);
- блок №2 – Ново-западная станция водоподготовки (НЗСВ) (введена в эксплуатацию 17 апреля 1979 г., проектная производительность 800 тыс. м³/сут).

Каждый блок состоит из 4 самостоятельных технологических линий.

С 2011 года сооружения Западной станции водоподготовки дополнились озоно-сорбционным блоком (ОСБ) (введен в эксплуатацию: 25 января 2011 г. – первая технологическая линия, 18 февраля 2011 г. – вторая технологическая линия, проектная производительность 250 тыс. м³/сут).

Источником воды для станции является Вазузская гидротехническая система и река Москва с комплексом водохранилищ (Можайское, Рузское, Озернинское, Истринское). Комплекс водозаборных сооружений ЗСВ расположен на правом берегу р. Москвы выше Рублевской плотины. Забор воды осуществляется через водоприемники берегового типа.

На сооружениях ЗСВ применяется двухступенчатая система очистки воды, включающая в себя отстаивание и фильтрование с предварительным хлорированием воды, обработкой коагулянтom (сернокислым алюминием и оксихлоридом алюминия) и флокулянтom «Праестол». В периоды появления в воде водоисточника неприятных или неспецифических запахов вводится режим

спецочистки, включающий дозирование активированного порошкообразного угля или перманганата калия.

После осветления и фильтрации вода поступает в резервуары питьевой воды, где осуществляется вторичное хлорирование и аммонизация – обеззараживание воды. Далее вода питьевого качества двумя насосными станциями 2-го подъема подается потребителю.

На новых сооружениях озоно-сорбционного блока (ОСБ) речная вода после отстаивания и фильтрования обрабатывается озоном в контактных бассейнах и далее проходит сорбционную обработку на угольных фильтрах.

Юго-Западная водопроводная станция совместно с ЗСВ осуществляет обеспечение питьевой водой юго-западного и южного районов города. Станция, в которой были реализованы современные инновационные технологии водоподготовки, запущена в эксплуатацию в декабре 2006 года, производительность очистных сооружений – 250 тыс.м³/сут. Подача воды на Юго-Западную водопроводную станцию осуществляется насосными станциями первого подъема Западной и Ново-Западной станций водоподготовки.

На ЮЗВС принята трехступенчатая схема очистки, основанная на отстаивании, фильтровании и мембранной ультрафильтрации. Технологическая схема обработки воды на ЮЗВС (внешний вид сооружений Юго-Западной водопроводной станции) показана на рис. 1.5-1.10.



Рис. 1.5. Механические смесители и камера хлопьеобразования



Рис. 1.6. Отстойник с тонкослойными модулями



Рис. 1.7. Скорый фильтр, водовоздушная промывка



Рис. 1.8. Здание реагентного хозяйства(цех гипохлорита натрия, аммиачной воды и активированного угля)



Рис. 1.9. Зал мембранных фильтров



Рис. 1.10. Озонаторная установка

РАЗДЕЛ 2. ОСВЕЩЕНИЕ, ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД

2.1. Коагулирование примесей воды

2.1.1. Физико-химические основы коагулирования примесей воды

Примеси, находящиеся в воде, имеют весьма малые размеры, и осаждение их происходит крайне медленно, т.к. силы диффузии превалируют над силами тяжести. Для ускорения процесса осаждения, фильтрования и повышения эффективности осветления и обесцвечивания воды прибегают к коагулированию.

Коагуляция примесей – это процесс укрупнения мельчайших коллоидных и диспергированных частиц, происходящий вследствие их взаимного слипания под действием силы молекулярного притяжения.

В результате коагуляционной обработки коллоидные частицы становятся неустойчивыми и способными к укрупнению. Коагуляция завершается образованием хлопьев и их отделением от жидкой фазы.

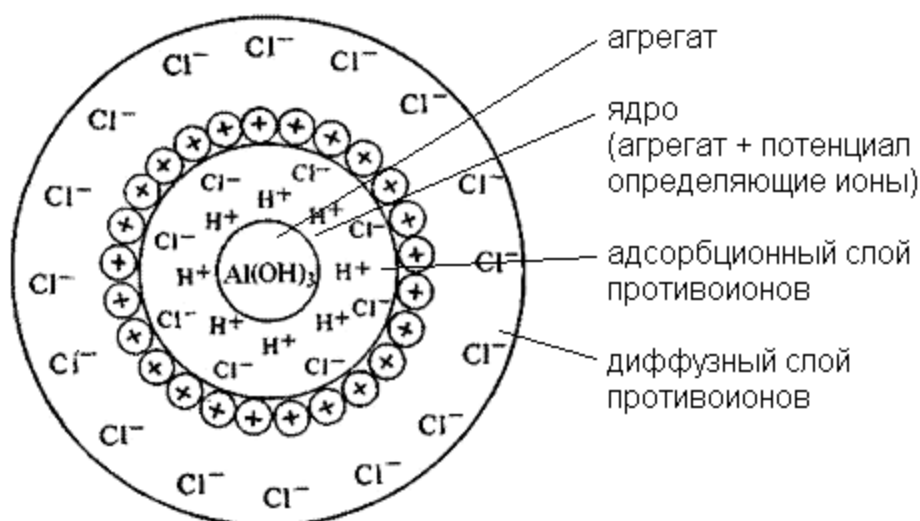


Рис. 2.1. Коллоидная частица золя гидроксида алюминия.

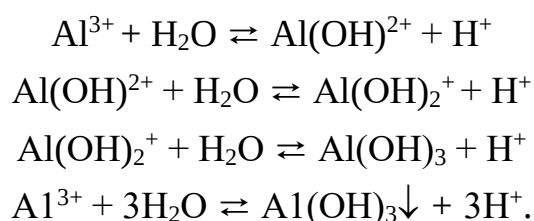
Согласно физической теории устойчивости коллоидных систем на поверхности сформированных ранее в воде агрегатов из молекул и атомов загрязняющих веществ адсорбируются ионы, достраивающие кристаллическую решетку их молекул. Агрегаты молекул вместе с потенциал-образующими ионами составляют электрически заряженное ядро мицеллы (рис. 2.1), к которому из окружающего раствора за счет электростатических сил притягиваются ионы противоположного знака, компенсирующие заряд потенциал-определяющих ионов. Вследствие этого на поверхности твердой фазы формируется двойной электрический слой. Характер образования двойного электрического слоя определяет электрокинетические свойства

высокодисперсных частиц. Из-за теплового движения ионов в воде и их отрыва слой окружающих частиц противоионов приобретает диффузионный характер. Скачок потенциала на границе плотного и диффузного (размытого) слоев противоионов указывает на соотношение полного (ϕ_0) и электрокинетического (ξ) потенциалов заряженной мицеллы. Коллоидная частица вместе с окружающим ее диффузионным слоем называется *мицеллой*.

Используемые в практике коагулянты чаще всего являются солями слабых оснований и сильных кислот: $\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. При растворении они гидролизуют. Взаимодействуя с гидроксильными ионами, содержащимися в воде, эти соли образуют малорастворимые основания. В воде накапливаются ионы водорода и раствор приобретает кислую реакцию.

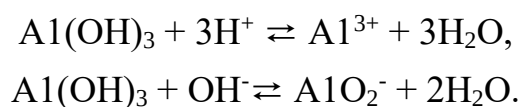
Более полному гидролизу подвержены коагулянты, образующие гидроксиды с меньшей константой диссоциации (величиной, характеризующей способность электролитов диссоциировать на ионы) или меньшим произведением растворимости.

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

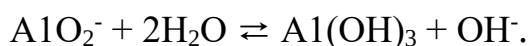


Степень гидролиза повышается с разбавлением раствора, повышением его температуры и pH. Гидролиз усиливается с разбавлением коагулянта.

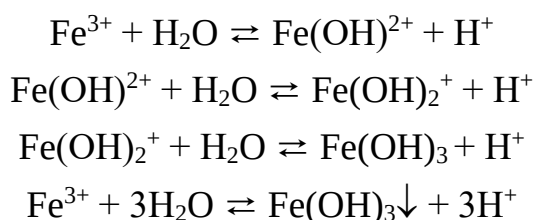
Гидроксид алюминия является типичным амфотерным соединением, т.е. обладает как кислотными, так и основными свойствами:



Необходимым условием для более полного протекания гидролиза является удаление из сферы реакции образующихся $\text{Fe}(\text{OH})_3$ или $\text{Al}(\text{OH})_3$, а также связывание ионов H^+ в малодиссоциированные молекулы. При коагулировании в кислых и нейтральных средах, содержащих небольшое количество гидрокарбонатов, для нейтрализации ионов H^+ , накапливающихся в воде при гидролизе $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, можно применять смесь $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и NaAlO_2 . В этом случае накапливающиеся ионы H^+ будут нейтрализоваться ионами OH^- , образующимися при гидролизе



Гидролиз FeCl_3 протекает в три стадии:



В тех случаях, когда концентрация ионов OH^- , HCO_3^- , содержащихся в воде, недостаточна для полного гидролиза коагулянта, щелочность воды повышают введением известкового молока или раствора соды. В первом случае *эффект подщелачивания* объясняется связыванием ионов H^+ ионами OH^- извести, во втором - связыванием ионов H^+ в ионы HCO_3^- .

Полнота гидролиза имеет большое значение, как для коагуляции, так и для качества очищенной воды, т.к. концентрация ионов Al^{3+} в питьевой воде строго регламентирована ($\text{Al}^{3+} \leq 0,2$ мг/л).

Процесс коагулирования примесей воды можно улучшить путем удаления углекислоты из зоны реакции продувкой воздухом.

Факторы, влияющие на процесс коагуляции: pH системы; щелочность обрабатываемой воды; условия перемешивания реагента с обрабатываемой водой; наличие в воде естественных взвесей; температура воды; тип и доза коагулянта, солесодержание.

Процесс искусственного обесцвечивания воды согласно современным представлениям протекает следующим образом. При добавлении к очищаемой воде раствора коагулянтов в течение первых 30-180 с происходит 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 поверхности гидроксидов 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 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $\text{Al}(\text{OH})_3$, 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 коагуляции 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.

Различают процессы коагуляции в *свободном* (конвективная коагуляция) в камерах хлопьеобразования, отстойниках, флотаторах и в *стесненном* объеме (контактная коагуляция) в осветлителях со взвешенным осадком и зернистых фильтрах).

Контактная коагуляция – процесс осветления и обесцвечивания воды, заключающийся в адсорбции примесей с нарушенной агрегативной устойчивостью на поверхности зерен контактной массы. (Нарушение агрегативной устойчивости происходит при введении коагулянта). Характерной особенностью контактной коагуляции является большая скорость процесса в сочетании с высоким эффектом при меньших затратах коагулянта. Интенсивность прилипания мелких примесей к относительно крупным зернам загрузки намного превосходит скорость агломерации между собой отдельных мелких частиц в свободном объеме жидкости, так как они несут небольшие электрические заряды и значительно легче прилипают к крупным зернам, лишенным зарядов, чем друг к другу. Другими особенностями контактной коагуляции являются независимость процесса от щелочности и температуры воды, меньшее влияние pH воды и др. Контактная коагуляция осуществляется в осветлителях со слоем взвешенного осадка, на контактных фильтрах и на контактных осветлителях.

Коагуляция сопровождается прогрессирующим укрупнением частиц и уменьшением их общего числа в объеме дисперсионной среды (в нашем случае – жидкости). Слипание однородных частиц называется гомокоагуляцией, а разнородных – гетерокоагуляцией. При гетерокоагуляции в стесненном объеме при сравнительно меньшем размере частиц коллоидов силы тяжести и инерции значительно меньше сил прилипания. В этом случае вероятность и прочность прилипания мелких частиц к поверхности контактной среды (зернистой загрузки скорых фильтров, грубодисперсные фракции осадка в осветлителях) выше, чем при слипании мелких однородных частиц между собой.

Гетерокоагуляцией называют прилипание частиц дисперсной фазы к вводимой в систему чужеродной поверхности. Термин «гетерокоагуляция» – это сокращение полного названия: гетерогенная адгезионная коагуляция. По мнению С. С. Воюцкого, одной из причин потери устойчивости дисперсных систем в присутствии чужеродной поверхности является адсорбция стабилизатора на этой поверхности и уменьшение его концентрации в коллоидной системе. Примером гетерокоагуляции может служить отложение коллоидных частиц на волокне, используемое при дублении, крашении и т. д.

Эффективность коагуляции примесей в очищаемой воде оценивают пробным коагулированием по времени образования видимых микрохлопьев, помутнению и осветлению воды в мерных цилиндрах, а также в процессе моделирования работы зернистых фильтров и осветлителей со взвешенным слоем осадка.

Улучшение седиментационных свойств скоагулированных грубодисперсных примесей достигается путем их агрегации (укрупнение) при взаимодействии с растворенными флокулянтами (активная кремниевая кислота, полиакриламид и др.).

В качестве **флокулянтов** применяют высокомолекулярные вещества, полученные из синтетических полимерных органических продуктов. Процесс образования агрегатов из грубодисперсных примесей за счет взаимодействия последних с растворенными флокулянтами, называется *флокуляцией*. При растворении в воде флокулянтов образуются системы, состоящие из макромолекул в виде нитей длиной до сотни микрон, соединенных между собой сегментами.

Электрокоагуляция — метод электрохимической обработки воды, обеспечивающий потерю кинетической и агрегативной устойчивости дисперсных систем. В инженерной практике для генерации и дозирования в воду коагулянта, образующегося за счет электрохимического растворения металлических электродов используют электрокоагуляторы. При погружении в воду металлических электродов и подвода к ним напряжения достаточной величины на поверхности электродов происходит электрохимические реакции, скорость которых определяется значением потенциала на границе «металл-раствор», составом раствора и условиями диффузии в нем. Ионы металла переходят в раствор, гидролизуются и участвуют в коагуляционном процессе аналогично коагулянтам, вводимым в воду в виде растворов.

2.1.2. Теоретические основы коагулирования примесей воды

Одним из наиболее широко применяемых на практике приемов снижения содержания взвешенных и коллоидных примесей в воде является их седиментация (осаждение) под действием сил тяжести. Однако примеси, обуславливающие мутность и цветность природных вод, отличаются малыми размерами, вследствие чего их осаждение происходит крайне медленно, так как силы диффузии превалируют над силами тяжести. Кроме того, наличие примесей коллоидного характера еще более осложняют процесс седиментации. Для ускорения процессов осаждения, фильтрования, флотации и повышения их эффективности прибегают к коагулированию примесей воды.

В результате коагуляции образуются агрегаты — более крупные (вторичные) частицы, состоящие из скопления мелких (первичных). Первичные частицы в таких агрегатах соединены силами межмолекулярного взаимодействия непосредственно или через прослойку окружающей (дисперсионной) среды.

Различают два типа коагуляции: коагуляция в свободном объеме (происходит в камерах хлопьеобразования) и контактная коагуляция (в толще зернистой загрузки или в массе взвешенного осадка).

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.

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 частичек. 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 зелей. Основу частичек составляют анионы, гуминовых кислот; ионы водорода или металлов составляют внешнюю оболочку двойного электрического слоя.

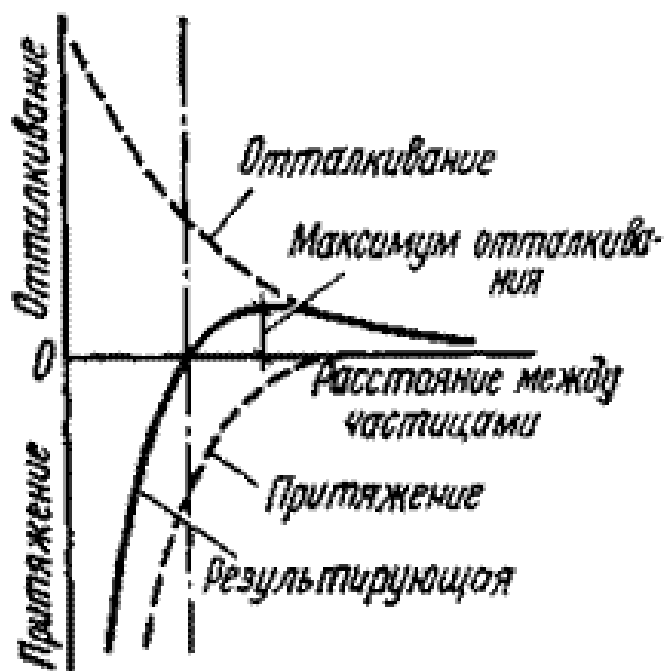


Рис. 2.2. Кривые взаимодействия частиц

Таким образом, диспергированные, коллоидные и взвешенные примеси природных вод (дисперсная фаза) в большинстве случаев имеют одинаковые заряды, что обуславливает возникновение межмолекулярных сил отталкивания

и агрегативную устойчивость. В технологии очистки воды производят частичное или полное удаление примесей, поэтому их агрегативную устойчивость стремятся нарушить, заряд их снизить до нуля или очень малых значений. Это достигается добавлением к воде *коагулянтов*: сульфатов алюминия, железа (II и III), хлорида алюминия и железа (III), алюмината натрия, *оксихлорида алюминия* и других веществ, которые либо нарушают агрегативную устойчивость примесей, либо образуют вследствие гидролиза коллоиды, которые их сорбируют.

Необходимым условием слипания частиц дисперсной фазы является их сближение, достаточное для проявления сил межмолекулярного притяжения. Для слипания коллоидных частиц необходимо преодолеть сопротивление так называемого «расклинивающего давления», обусловленного силами молекулярного сцепления воды с поверхностью частиц. На расстоянии 1 нм и меньше силы взаимного притяжения взаимодействующих частиц (рис. 2.2) превалируют над силами сцепления в гидратном слое. При значительных расстояниях между ними гидратные слои являются термодинамически устойчивым стабилизирующим фактором.

При добавлении в очищаемую воду коагулянтов – противоположно заряженных коллоидов – происходит взаимная коагуляция двух систем.

В зависимости от условий формирования золь гидроксида алюминия, образующийся при гидролизе солей алюминия, будет заряжен положительно (при низких значениях pH воды) или отрицательно (при высоких). Это связано с тем, что гидроксид алюминия является типичным амфотерным соединением, обладая как кислыми, так и основными свойствами.

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

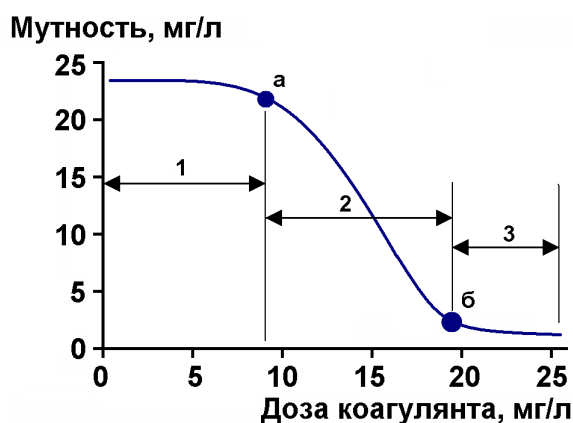


Рис. 2.3. Коагуляционная кривая:
а – порог коагуляции; б – оптимальная доза коагулянта

Наглядное представление о влиянии дозы коагулянта на процессы осветления и обесцвечивания воды дает коагуляционная кривая (рис. 2.3). Ее можно разбить на три зоны. В первой зоне при малых дозах коагулянта эффект осветления и обесцвечивания воды отстаиванием или фильтрованием незначителен. Во второй зоне увеличение дозы коагулянта резко сказывается на эффекте осветления и обесцвечивания воды. Граница между первой и второй зонами носит название порога коагуляции. В третьей зоне увеличение дозы коагулянта не дает заметного улучшения эффекта осветления и обесцвечивания воды. Кривая практически параллельна оси абсцисс. Граница между второй и третьей зонами носит название оптимальной дозы.

Анализ коагуляционной кривой позволяет убедиться в том, какое огромное значение оказывает доза коагулянта на процессы осветления и обесцвечивания воды. Все характерные точки коагуляционной кривой (порог коагуляции, оптимальная доза, размеры зон) зависят от качества и свойств исходной воды. Не существует единой коагуляционной кривой, однако их характер одинаков.

Применение коагулянтов, в состав которых входят гидроксихлориды алюминия различной степени основности, даёт следующие преимущества:

- ускорение хлопьеобразования;
- поддержание концентрации остаточного алюминия в очищенной воде в пределах, требуемых ГОСТ;
- проведение эффективной коагуляции при низких температурах;
- расширение рабочего диапазона по pH и щелочному резерву;
- отсутствие жестких требований по дозировке в связи с низким порогом коагуляции;
- высокая прочность хлопьев, увеличивающая эффективность фильтрации и чёткость границы осветлённой зоны при отстаивании.

Влияние температуры воды на процесс коагуляции ее примесей. Молекулы воды, а также частицы ее примесей находятся в тепловом броуновском движении, интенсивность которого прямо пропорциональна температуре воды. Процесс коагуляции во времени делится на две фазы: перекинетическую и ортокинетическую. Первая фаза весьма непродолжительна и заключается в том, что после введения коагулянта и нарушения агрегативной устойчивости частиц примесей в результате обменной адсорбции ионов наступает процесс их агломерации при контактировании. Очевидно, что вероятность соударения отдельных частиц между собой и их последующая агломерация зависят от скорости взаимного перемещения от теплового броуновского движения. Перекинетическая фаза процесса коагулирования примесей воды заканчивается образованием первичных агрегатов, для дальнейшего передвижения которых энергии теплового броуновского движения уже недостаточно.

Вторая фаза коагуляции ортокинетическая, в отличие от первой протекает значительно дольше (до 60 мин. и более) и заключается в слипании и формировании крупных плотных хлопьев, что обеспечивается созданием оптимальных условий для дальнейшего укрупнения первичных агрегатов путем

перемешивания обрабатываемой воды в специальных сооружениях - камерах хлопьеобразования, в результате которого происходит контактирование первичных мелких агрегатов. На этот процесс существенное влияние оказывают условия перемешивания. С одной стороны, интенсивность перемешивания должна обеспечивать максимально возможное контактирование отдельных агрегатов между собой, а с другой - она не должна вызывать разрушение образующихся хлопьев.

Большое влияние на процесс оказывает содержания в воде естественных взвесей. Грубодисперсные примеси являются как бы «центрами коагуляции», способствуя формированию более крупных и плотных хлопьев, которые быстро осаждаются или легко извлекаются из воды при фильтровании.

Процесс коагуляции может быть значительно ускорен при использовании флокулянтов. *Флокулянтами* в технологии очистки воды называют высокомолекулярные вещества, интенсифицирующие процесс хлопьеобразования гидроксидов алюминия или железа (III), а также работу отдельных водоочистных сооружений. Они принадлежат к классу линейных полимеров, для которых характерна цепочечная форма макромолекул. Молекулярная масса флокулянтов колеблется в пределах от десятков тысяч до нескольких миллионов; длина цепочки, состоящей из ряда одинаковых звеньев, составляет сотни нанометров. Они хорошо растворимы в воде. Их водные растворы являются истинными растворами, т.е. гомогенными однофазными термодинамически устойчивыми системами.

Высокомолекулярные флокулянты классифицируют на органические (природные и синтетические) и неорганические, на анионного и катионного типа. В качестве флокулянтов из природных веществ используют крахмал, водорослевую крупку, белковые гидролизные дрожжи, картофельную мезгу, альгинат натрия и др. Из синтетических анионных флокулянтов наиболее широко применяют органический полимер полиакриламид (ПАА), затем флокулянты серии К (К-4, К-6 и др.). Организовано также производство флокулянтов катионного типа (ВА-2, ВА-3, ВА-102, ВПК-101, ВПК-402, КФ, УКФ, ВАФ), которые в отличие от ПАА вызывают образование крупных хлопьев без предварительной обработки примесей воды коагулянтами.

Применение флокулянтов при обработке воды позволяет ускорить в камерах хлопьеобразования и отстойниках формирование хлопьев и их декантацию, повысить эффект осветления воды и увеличить скорость ее движения в сооружениях. В осветлителях со взвешенным осадком они увеличивают концентрацию частиц во взвешенном слое и уменьшают их вынос из него при одновременном повышении скорости восходящего потока воды. Использование флокулянтов на действующих очистных сооружениях позволяет увеличивать их производительность и водоочистного комплекса в целом. В отдельные периоды года (паводки, низкие температуры воды, и др.), когда технологические сооружения обеспечивают получение воды стандартного качества лишь при пониженной производительности, использование флокулянтов позволяет сохранять требуемую подачу воды.

Предварительная обработка воды окислителями также повышает эффективность коагуляции. Это объясняется тем, что окислители разрушают гидрофильные органические соединения, стабилизирующие дисперсные примеси воды, и облегчают условия протекания коагуляции. Особенно эффективно применение окислителей при обработке маломутных цветных вод.

При этом возрастает гидравлическая крупность хлопьев коагулированной взвеси и интенсифицируется осветление воды.

Уменьшение времени хлопьеобразования при низкой температуре воды и снижение дозы коагулянта могут быть достигнуты введением замутнителей. При замутнении воды большую роль играет степень дисперсности вводимых частиц. Существенно (на 30...60%) ускоряется процесс хлопьеобразования при добавлении частиц размером меньше 3 мкм. Рекомендуется вводить в воду высокодисперсную глинистую взвесь в количестве 10 мг/л или скоагулированный осадок в количестве 0,4...0,6 от дозы коагулянта. При низких температурах и малой мутности воды резко ухудшаются технологические процессы ее очистки, поэтому использование замутнителя, в роли которого могут выступать промывных вод скорых фильтров и осадков отстойников и осветлителей, особенно важно.

Эффективное воздействие осадка объясняется тем, что он представляет собой уже готовые крупные частицы такого же строения, что и выделяющийся гидроксид. Поэтому время, необходимое для образования сверхмицеллярных агрегатов, сокращается. Таким образом, ускоряется хлопьеобразование, образуются более крупные хлопья, быстрее идет их декантация, а, следовательно, интенсивнее осветляется вода. Для достижения высокого эффекта осветления рециркулируемый осадок следует вводить в воду за 15...30 с до введения коагулянта. Осадок рекомендуется применять при pH исходной воды не ниже 7,0. Возраст осадка не должен превышать двух суток с отбором его из шламоотводящих труб горизонтальных отстойников.

Коагуляция примесей воды может быть значительно ускорена ее обработкой смесью коагулянтов. Действие коагулянтов при этом обоюдно усиливается. Такое явление наблюдается при использовании смеси $Al_2(SO_4)_3$ и $FeCl_3$ в соотношении 1:1, 1:2, 2:1 или этих же коагулянтов с силикатом натрия. Подобное улучшение коагуляции достигается обработкой воды смесью неочищенного и очищенного глинозема в соотношении 3:1 или смесью коагулянтов глинозема и хлорного железа в соотношениях 3:1 и 4:1. В ряде случаев вместо сернокислого алюминия для обработки воды используют оксихлорид алюминия. Опыт применения этого коагулянта показал хорошие результаты на ряде водоочистных комплексов.

К физическим методам интенсификации процесса коагуляции относятся аэрирование, наложение электрического и магнитного полей, воздействие ультразвуком, ионизирующее излучение. Введение сжатого диспергированного воздуха в обрабатываемую воду в смеситель после добавления коагулянта с некоторым разрывом во времени позволяет удалить из зоны коагуляции образующийся при распаде угольной кислоты диоксид углерода.

Своевременное удаление свободной углекислоты из сферы формирования микрохлопьев значительно ускоряет дальнейший ход коагуляции. Аэрирование в количестве 10...30% от расхода обрабатываемой воды позволяет снизить расход коагулянта на 25...30% и улучшить качество обработки воды.

2.2. Реагенты, используемые в технологии улучшения качества воды

2.2.1. Характеристики реагентов

В водоподготовке применяют следующие коагулянты на основе алюминия: сульфат алюминия, оксихлорид алюминия, алюминат натрия (табл. 2.1).

Сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ - неочищенный технический продукт, представляющий собой куски серовато-зеленоватого цвета, получаемые путем обработки бокситов, нефелинов или глин серной кислотой. Он должен иметь не менее 9% Al_2O_3 , что соответствует содержанию порядка 30% чистого сульфата алюминия. В нем также содержится около 30% нерастворимых примесей и до 35% воды.

Таблица 2.1

Коагулянт	Формула, сорт, марка	Содержание, % по массе	
		Al_2O_3	нерастворимых примесей
Сульфат алюминия: неочищенный	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	> 9	< 30
Сульфат алюминия: очищенный (по ГОСТ 12966-85)	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ высший сорт	≥ 16	$\leq 0,3$
	1 сорт	≥ 16	$\leq 0,3$
	2 сорт	≥ 15	$\leq 0,7$
Оксихлорид алюминия (по ТУ 2163-001-63114035-2009)	$Al_2(OH)_5Cl$ Марка А	9-12	Хлорид-ионы: ≤ 23
	Марка Б	18-22	≤ 8
Оксихлорид алюминия (Аква-Аурат)	Аква-Аурат TM 30	$30 \pm 3,0$	Хлорид-ионы: $35,0 \pm 5,0$
	Аква-Аурат TM 10	$10,0 \pm 0,6$	$13,0 \pm 2,0$
	Аква-Аурат TM 14	$13,6 \pm 0,5$	$22,0 \pm 2,0$
	Аква-Аурат TM 18	$17,0 \pm 0,5$	$21,0 \pm 2,0$
Алюминат натрия	$NaAlO_2$	45...55	6...8

Очищенный сульфат алюминия (ГОСТ 12966-85*) получают в виде плит серовато-перламутрового цвета из неочищенного продукта или из глинозема растворением в серной кислоте. Он должен иметь не менее 13,5% Al_2O_3 , что

соответствует содержанию 45% сульфата алюминия. Оба рассмотренных коагулянта перевозят навалом в закрытых железнодорожных вагонах.

В России для обработки воды выпускается также 23-25%-ный раствор сульфата алюминия. При его применении отпадает необходимость в специальном оборудовании для растворения коагулянта, а также упрощаются и удешевляются погрузочно-разгрузочные работы и транспортирование.

Глинозем имеет повышенную чувствительность к pH и температуре обрабатываемой воды. Изoeлектрическая область для гидроксида алюминия, где у него наименьшая растворимость, соответствует $\text{pH} = 6,5 \dots 7,5$. При более низких значениях pH образуются частично растворимые основные соли, при более высоких - алюминаты. При температуре исходной воды ниже 4°C в результате возрастания гидратации гидроксида алюминия замедляются процессы коагулирования ее примесей и декантации хлопьев, быстро засоряются фильтры, осадок гидроксида алюминия отлагается в трубах, остаточный алюминий попадает в фильтрат, а хлопья гидроксида образуются в воде уже после подачи потребителям.

Полиоксихлорид алюминия (ПОХА) выпускается в виде раствора или кристаллической формы в зависимости от концентрации основного вещества в пересчете на Al_2O_3 (от 7,0 до 33,0 %). Продукт может представлять собой как бесцветные или с желтоватым оттенком водные растворы (допускается опалесценция) так и порошок, гранулы, чешуйки от белого до кремового или желтого цвета.

В общем виде брутто-формула полиоксихлорида алюминия $\text{Al}_a(\text{OH})_b\text{Cl}_c(\text{SO}_4)_d \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где a, b, c, d, n – индексы, значения которых изменяются в следующих пределах: a = (0,2-0,26); b = (0,2-2,2); c = (0,2-2,2); d = (0-1,3); n = (2-4). На практике часто используется формула $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$, этот реагент еще называют *алюминия хлоргидрат*. Отношение содержания OH^- к Al^{3+} в процентном выражении называется основностью. Вопрос основности и выбора марки ПОХА должен решаться применительно к конкретным характеристикам очищаемой воды, так как высокоосновные реагенты более дорогие, а оптимальными по затратам и коагулирующей способности часто оказываются среднеосновные и даже низкоосновные оксихлориды алюминия.

Обычно оксихлорид алюминия (ОХА) получается обработкой металлического алюминия соляной кислотой, или его растворением в растворе хлорида алюминия при 90°C .

При применении полиоксихлорида алюминия минерализация воды возрастает, а ее щелочность снижается в меньшей степени, чем при введении сульфата алюминия, что особенно важно при обработке мягких вод.

Полиоксихлорид алюминия в определенных условиях оказывается эффективнее сульфата алюминия, так, например, при низких температурах обрабатываемой воды, при обработке цветной воды. Полиоксихлорид алюминия позволяет получить питьевую воду с содержанием остаточного алюминия в пределах 0,05-0,10 мг/л.

По ТУ 2163-001-63114035-2009 оксихлорид алюминия может выпускаться марки А и Б. В табл. 2.1 приведены их физико-химические характеристики.

Алюминат натрия NaAlO_2 представляет собой твердые куски белого цвета с перламутровым блеском на изломе, получаемые растворением гидроксида или оксида алюминия в растворе гидроксида натрия. Сухой товарный продукт содержит 55% AlO_3 , 35% Na_2O и до 5% свободной щелочи NaOH . Растворимость NaAlO_2 - 370 г/л (при 20°C). Насыпная масса 1,2...1,8 т/м³.

В водообработке применяют также железосодержащие коагулянты: хлорное железо, сульфаты железа (II) и железа (III), хлорированный железный купорос.

Хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 11159-86) представляет собой темные с металлическим блеском кристаллы, очень гигроскопичные, поэтому транспортируют его в железных герметичных бочках. Получают безводное хлорное железо хлорированием стальной стружки при температуре 700°C, а также как побочный продукт при производстве хлоридов металлов горячим хлорированием руд. Содержит в товарном продукте не менее 98% FeCl_3 . Плотность 1,5 т/м³.

Сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (железный купорос по ГОСТ 6981-85) представляет собой прозрачные зеленовато-голубые кристаллы, легко буреющие на воздухе в результате окисления железа (II). Товарный продукт выпускается двух марок (А и Б), содержащих соответственно не менее 53 и 47% FeSO_4 , не более 0,25 и 1% свободной H_2SO_4 и не более 0,4 и 1% нерастворимого осадка. Поставляют его в деревянных бочках или барабанах массой до 120 кг, а также в ящиках массой 80 кг, плотность 1,5 т/м³. Промышленность выпускает также и 30%-ный раствор сульфата железа(II), содержащий до 2%, свободной H_2SO_4 . Транспортируют его в гумированной таре.

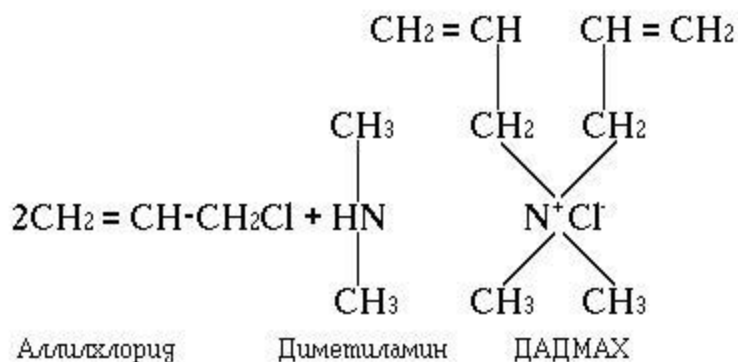
Окисление гидроксида железа (II), образующегося при гидролизе железного купороса при pH воды менее 8, протекает медленно, что приводит к неполному его осаждению и неудовлетворительному коагулированию. Поэтому перед вводом железного купороса в воду добавляют известь или хлор либо оба реагента вместе, усложняя и удорожая тем самым водообработку. В связи с этим железный купорос используют главным образом в технологии известкового и известково-содового умягчения воды, когда при устранении магниевой жесткости значение pH поддерживают в пределах 10,2... 13,2 и, следовательно, соли алюминия не применимы.

Сульфат железа (III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (сульфат железа окисный по ВТУ УХКП52-86) получают растворением оксида железа в серной кислоте. Продукт кристаллический, очень гигроскопичный, хорошо растворяется в воде. Поставляется в бумажных мешках, плотность 1,5 т/м³. Использование солей железа (III) в качестве коагулянта предпочтительнее по сравнению с сульфатом алюминия. При их применении улучшается коагуляция при низких температурах воды, на процесс мало влияет pH среды, ускоряется декантация скоагулированных примесей и уменьшается время отстаивания (плотность хлопьев гидроксида железа (III) в 1,5 раза больше, чем гидроксида алюминия).

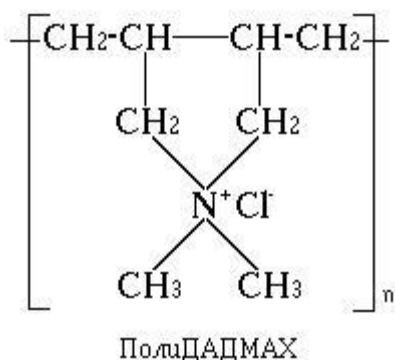
К числу недостатков солей железа (III) относится необходимость их точной дозировки, так как ее нарушение приводит к проникновению железа в фильтрат. Хлопья гидроксида железа (III) осаждаются неравномерно, в связи, с чем в воде остается большое количество мелких хлопьев, поступающих на фильтры. Эти недостатки в значительной мере устраняются при добавлении сульфата алюминия.

Хлорированный железный купорос $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{FeCl}_3$ получают непосредственно на водоочистных комплексах обработкой раствора железного купороса хлором, вводя на 1 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,160...0,220 г хлора.

Флокулянт-полиэлектролит водорастворимый катионный серии полиДАДМАХ (синоним: полидиаллилдиметиламмоний хлорид) представляет собой высокомолекулярный сильноосновной катионный полимер линейно-циклической структуры. Реагент полиДАДМАХ синтезируется из аллилхлорида и диметиламина нагреванием в щелочной среде с получением мономера диметилдиаллил-аммонийхлорида (ДАДМАХ):



Полимеризация происходит циклическим путем с образованием следующей структуры:



Эмпирическая формула $-(\text{C}_8\text{H}_{16}\text{NCl})_n-$. Реагент может быть представлен в виде порошка или в жидкой форме с концентрацией активного вещества от 10 до 40 масс. %. Катионный заряд расположен на боковой цепи. Молекулярная масса от 10 тыс. до 1 млн. Вязкость 40%-ного раствора от 40 до 20000 сПз.

ПолиДАДМАХи производят под различными торговыми наименованиями более 260 компаний мира. В частности, SNF Floerger (Флопам серии ФЛ 45), Cytec Industries B.V. (Суперфлок С 591, 592, 597), Nalco (Налколайт 8102, 8103), Stockhausen (Праестол 186-189) и т.д. В России аналогичные катионные реагенты выпускаются под маркой ВПК-402.

Полиэлектролит ВПК-402 выпускается в модификациях для очистки питьевой воды и для промышленных нужд и используется в качестве флокулянта и коагулянта для широкого спектра задач по очистке природных и сточных вод. Данный реагент допущен к применению при подготовке питьевой воды, что существенно отличает его от аналогов другого химического состава. Полиэлектролит ВПК-402 может применяться как самостоятельно, так и в совокупности с коагулянтами. Полиэлектролит ВПК-402 не горюч, не взрывоопасен, малотоксичен. По степени воздействия на организм полиэлектролит ВПК-402 относится к 4-ому классу опасности (вещества малоопасные). Поставляется в полиэтиленовых бочках и ж/д цистернами.

В практике водоподготовки используется множество различных флокулянтов – как для основного процесса очистки воды, так и для обработки промывных вод и осадка.

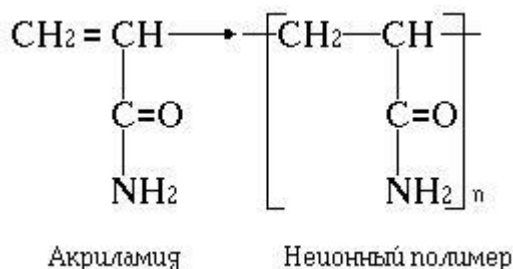
Активная кремниевая кислота (АК) представляет собой коллоидный водный раствор кремниевых кислот их труднорастворимых солей, получаемых частичной или полной нейтрализацией щелочности силиката натрия (жидкого стекла) при воздействии активатора (серная кислота, сульфат алюминия, хлор, гидрокарбонат или гидросульфат натрия и др.). Получаемые молекулы кремниевой кислоты выделяются из раствора в виде отрицательно заряженных коллоидных частиц. Механизм взаимодействия АК с агрегативно-неустойчивыми примесями воды, а также с гидроксидами алюминия и железа(III) объясняется взаимной коагуляцией разноименно заряженных частиц и ее действием на свойства сверхмицеллярных структур, образующихся при введении коагулянта.

Растворы АК не выпускаются промышленностью, а готовятся на месте применения непосредственно перед использованием, т.е. они не относятся к стандартным продуктам с определенными свойствами. В настоящее время АК практически не применяется на станциях водоподготовки.

Полиакриламид - белое аморфное, хорошо растворимое в воде вещество, содержащее ионогенные группы; при гидролизе образует акриловую кислоту и ее соли. Механизм действия ПАА основан на адсорбции его молекул на частицах примесей воды, гидроксидов алюминия или железа (III), образующегося при гидролизе солей-коагулянтов. Молекулы ПАА способны образовывать ассоциаты фибриллярных структур цепочки длиной 130 нм. Благодаря вытянутой форме молекулы адсорбция происходит в разных местах с несколькими частицами гидроксида, в результате чего последние связываются полимерными мостиками в тяжелые, крупные и прочные агрегаты (глобулы).

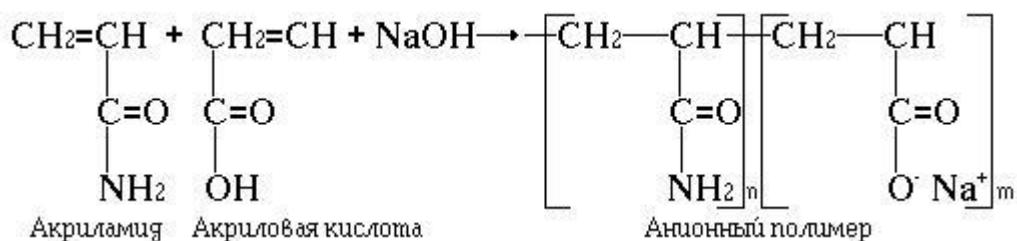
На основе полиакриламида выпускается множество марок флокулянтов, среди них различают неионные, анионные и катионные полиакриламиды.

Неионные ПАА. Представляют собой акриламидные гомополимеры, получаемые путем полимеризации мономера акриламида:



Эмпирическая формула: $-(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_x-$, где: x – переменная в зависимости от продукта. Производится в виде гранул или порошка. Молекулярная масса 1-20 млн. Плотность заряда нулевая, т.е. полимер не имеет ни положительного, ни отрицательного электрического заряда.

Анионные ПАА. Эти флокулянты получают путем сополимеризации мономеров акриламида и акрилата натрия в различных пропорциях:

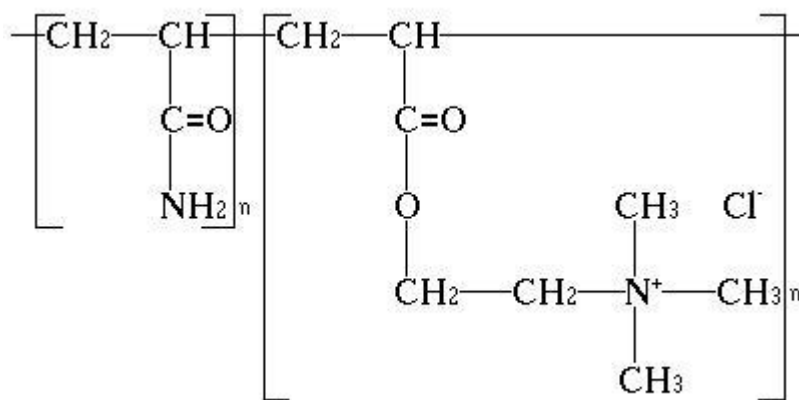


Эмпирическая формула: $-(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_x - (\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_2\text{K})_y$, где: K – положительный ион; x и y – переменные в зависимости от продукта. Производится в виде геля, гранул или порошка. Молекулярная масса 1-20 млн. Имеет отрицательный заряд с плотностью от 1 до 50%.

Катионные ПАА. Эти реагенты получают путем сополимеризации акриламида и катионного акрилового мономера. Наиболее часто для этой цели используются следующие катионные мономеры:

- (2-акриламидоэтил) N-метил, N-диэтиламмоний метилсульфат;
- (2-акриламидоэтил) N-метил, N-диэтиламмоний хлорид;
- (2-акриламидоэтил) триметиламмоний хлорид;
- (2-акриламидоэтил) триметиламмоний метилсульфат;
- (2-метакриламидоэтил) триметиламмоний хлорид;
- (2-метакриламидоэтил) триметиламмоний метилсульфат;
- (2-метакриламидпропил) триметиламмоний хлорид;
- (3-акриламидпропил) триметиламмоний метилсульфат.

Типичная структура катионного ПАА представлена ниже:



Эмпирическая формула: $-(C_3H_5NO)_x$ с $-(C_aH_bN_cO_dA)_y$, где: К – отрицательный ион; x и y – переменные в зависимости от катионного мономера. Производится в виде гранул или порошка. Молекулярная масса 3-15 млн. Имеет положительный заряд, плотность которого от >0 до $<15\%$.

На основе полиакриламида компанией Соленис (Solenis) выпускается целая линейка флокулянтов марки Праестол (Praestol), получивших широкое распространение за рубежом и в России. Производство флокулянтов расположено в г. Пермь (Россия) и в г.Крефельд (Германия).

Для очистки питьевой воды применяют марки, содержащие аббревиатуру TR. Анионные флокулянты представлены марками: Праестол 2515 TR, Праестол 2530 TR, Праестол 2540 TR и другими, катионные – марками Праестол 610 TR, Праестол 611 TR, Праестол 650 TR, Праестол 851 TR и другими. Неионогенные флокулянты Праестол представлены технически чистыми полиакриламидами. Внешне флокулянт Праестол представляет собой белые гранулы.

Флокулянт ВА-2 (поли-4-винил-М-бензилтриметиламмоний-хлорид) представляет собой порошкообразный или 7...15%-ный подвижный раствор полиэлектролита (молекулярная масса $(5...10) \cdot 10^4$). Механизм действия ВА-2 заключается в том, что, имея положительный заряд, его макроионы адсорбируются на отрицательно заряженных коллоидно-дисперсных примесях воды, образуя крупные агрегаты. Поэтому при применении флокулянтов катионного типа хлопьеобразование происходит без обычных минеральных коагулянтов. Присутствующие в природных водах высокомолекулярные гуминовые кислоты формируют с ВА-2 нерастворимые агрегаты. Фенольные и гидроксильные группы гуминовых кислот, взаимодействуя с основными группами флокулянта, образуют малодиссоциированные соли.

Для обработки воды применяется известь строительная воздушная. Различают следующие *виды строительной извести*, которые могут употребляться для данной цели: *известь негашеная комовая (кипелка)*; *известь гидратная – пушонка*; *известь негашеная молотая*.

В зависимости от содержания оксида кальция и оксида магния известь разделяется на два вида: *известь кальциевую*, содержащую не более 7% MgO и

известь магнезильную, содержащую более 7% MgO. Поскольку оксид магния не вступает в реакцию и является в данном случае балластом, желательно употреблять кальциевую известь.

В зависимости от скорости гашения *известь разделяется на быстро гасящуюся* (скорость гашения до 10 мин.); *среднегасящуюся* (скорость гашения от 10 до 30 мин.); *медленно гасящуюся* (скорость гашения свыше 30 мин.). В данном случае желательна первая.

Известь негашеная комовая перевозится навалом. Известь молотая и гидратная (пушонка) перевозятся в таре или специально приспособленным автотранспортом. При хранении и перевозке извести должны быть приняты меры, предохраняющие ее от увлажнения, масса 1 м³ гашеной извести 1,0 т, негашеной 0,6-0,7 т. При небольших расходах извести желательно превращать ее вне установки (на складе) в известковое тесто, доставлять в таком виде на установку, где разбавлять до степени известкового молока.

2.2.2. Выбор доз реагентов

Доза коагулянта для вод разного состава не одинакова и устанавливается путем пробного коагулирования исходной воды в лаборатории. Оптимальная доза коагулянта вызывает образование крупных, быстро декантирующих хлопьев и не дает опалесценции воды. Существует методика определения *показателя коагулируемости воды*, под которым понимается способность к коагуляции грубодисперсных и коллоидных примесей, присутствующих в воде, при обработке ее коагулянтом - сернокислым алюминием, проводимой как без подщелачивания воды, так и с ее подщелачиванием.

Для ориентировочных подсчетов дозу коагулянта следует определять по СНиП 2.04.02-84, которая в пересчете на безводные $Al_2(SO_4)_3$; $Fe_2(SO_4)_3$; $FeCl_3$ при обработке мутных вод принимается (в зависимости от содержания примесей) от 25 до 80 мг/л. При коагулировании воды с повышенной цветностью доза коагулянта находится по формуле $D_k = 4Ц^{0,5}$, где Ц - цветность воды, град.

Оптимальная доза коагулянта определяется на основании результатов пробного коагулирования воды, которое служит не только для определения дозы коагулянта и флокулянта, но и для выбора вида реагентов и условий их ввода в обрабатываемую воду.

Пробное коагулирование выполняется следующим образом: в несколько цилиндров (до 10 штук) емкостью 0,5-1 л наливается исходная (предварительно хлорированная или озонированная) вода, затем в цилиндры вводится раствор коагулянта определенной концентрации и объемом, рассчитанным на конкретный диапазон доз реагента. Смешение коагулянта с водой осуществляется или опрокидыванием цилиндров, или перемешиванием воды стеклянной палочкой с резиновым смесителем на конце, или, что предпочтительнее – с помощью установки пробного коагулирования с механическими мешалками. Установка позволяет осуществлять быстрое и

медленное смешение реагентов с водой, соответствующее условиям пребывания воды в смесителе и камере хлопьеобразования.

Результаты исследований выражаются в виде зависимости оптической плотности, мутности или цветности, перманганатной окисляемости, остаточного алюминия от дозы коагулянта. Примерный вид графика представлен на рис. 2.3.

Оптимальной дозой коагулянта будет та доза, при которой качество очищенной воды практически не зависит от дозы вводимого реагента, а контролируемые показатели отвечают требованиям стандарта.

При необходимости введения подщелачивающих реагентов – извести или соды – при проведении пробного коагулирования в воду вводятся эти реагенты. При наблюдении за эффективностью процесса очистки воды определяется место их введения – до или после коагулянта, а доза – при выполнении пробного коагулирования.

Для повышения эффективности осветления воды при коагулировании в нее вводится флокулянт. Определение необходимых доз флокулянта осуществляется также при пробном коагулировании. Различные его дозы вводятся в воду, обработанную оптимальной дозой коагулянта, через 1-2 мин.

В каждом конкретном случае оптимальной дозой будет та, при которой все контролируемые показатели достигают нормируемых значений. В зависимости от качества исходной воды и условий ее обработки диктующие показатели, по которым выбирается необходимая доза коагулянта, для разных водоисточников могут быть разными, и они могут меняться при изменении качества воды в течение года.

Ранее доза коагулянта определялась такими показателями, как мутность и цветность. После введения ПДК на показатель перманганатной окисляемости во многих случаях диктующим показателем качества воды, по которому выбирается необходимая доза коагулянта, является перманганатная окисляемость.

Результаты экспериментов показывают, что предлагаемая в СНиП 2.04.02-84 формула расчета дозы коагулянта по цветности воды, может быть использована лишь для определения ориентировочной дозы, необходимой для расчета и проектирования реагентного хозяйства станции, но не может применяться для определения дозы реагента при эксплуатации очистных сооружений и достижения качества воды по всем показателям.

Дозу ПАА, считая по безводному продукту, можно определить в зависимости от места его ввода. Так, при вводе перед сооружениями I ступени, согласно СНиПу, в зависимости от мутности и цветности исходной воды она варьируется в пределах 0,2...1,5 мг/л, а при вводе перед фильтрами при двухступенчатой очистке - 0,05...0,1 мг/л, при вводе перед фильтровальными сооружениями при одноступенчатой очистке - 0,2...0,6 мг/л.

Флокулянты следует вводить в воду через 1...3 мин. после ввода коагулянта. При очистке мутных вод допускается введение в воду флокулянтов до коагулянтов или одновременно.

При предварительном хлорировании, которое предусматривается для улучшения хода коагуляции и обесцвечивания воды, а также для поддержания водоочистных сооружений в над лежащем санитарном состоянии, доза хлора принимается 2...4 мг/л. Реагент следует вводить в воду за 1...3 мин. до поступления коагулянта и тщательно перемешивать.

При наличии в исходной воде фенолов рекомендуется применять ее *преаммонизацию* путем введения в воду перед хлорированием аммиака или аммонийных солей в количестве 20...25% (по NH_3) от дозы хлора.

При низкой щелочности исходной воды для обеспечения успешной коагуляции ее приходится *подщелачивать*, для чего в нее вводят известь или соду в количествах, определяемых по формуле

$$D_{\text{щ}} = K_{\text{щ}}(D_{\text{к}}/e_{\text{к}} - \text{Щ}_0) + 1, \quad (2.1)$$

где $D_{\text{к}}$ - максимальная в период подщелачивания доза безводного коагулянта, мг/л; Щ_0 - минимальная щелочность исходной воды, мг-экв/л; $K_{\text{щ}}$ - коэффициент, равный для извести (по CaO) - 28 и для соды (по Na_2CO_3) - 53; $e_{\text{к}}$ - эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг-эквл, принимаемая для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ - 57, FeCl_3 - 54, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ - 67.

При отрицательной величине $D_{\text{щ}}$ подщелачивание не требуется. Щелочные реагенты следует вводить одновременно с вводом коагулянта или до него.

2.2.3. Повышение эффективности реагентной обработки воды

Как показывает опыт эксплуатации действующих водопроводных станций, работающих по традиционной технологии, более половины из них не могут обеспечить выполнение требований СанПиН по мутности, остаточному алюминию и перманганатной окисляемости. Существующие трудности (постоянные или периодические) во многих случаях связаны с процессом коагулирования воды и зависят от множества технических и технологических причин.

Нормативные документы ограничивают содержание остаточного алюминия на уровне 0,2 мг/л, что ставит достаточно сложную задачу по выполнению данного норматива на водопроводных станциях. Особенно трудно решить проблему уменьшения концентрации остаточного алюминия в питьевой воде при использовании для очистки воды сульфата алюминия.

Вторая сложная задача, существующая на водопроводных станциях – это выполнение нормативных требований по содержанию в питьевой воде органических загрязнений, характеризуемых показателем перманганатной окисляемости. Во многих случаях содержание органических загрязнений в исходной воде поверхностных водоисточников варьируется от 8 до 16 $\text{мгO}_2/\text{л}$. Как известно из опыта работы водопроводных станций и результатов многочисленных исследований, традиционные реагентные схемы очистки воды обеспечивают уменьшение концентрации органических загрязнений и

снижение величины пермангантной окисляемости (ПО) в среднем на 50-60 %. Чтобы достичь ПДК по показателю ПО (5 мгО₂/л), на многих водопроводных станциях необходимо повысить глубину очистки воды за счет оптимизации режима реагентной обработки воды и реконструкции очистных сооружений.

Глубина удаления загрязнений при очистке воды коагулированием существенно зависит от дозы коагулянта. Это подтверждается результатами многочисленных исследований, выполненных на воде различных водоисточников, в том числе Драгинским В.Л. и Алексеевой Л.П.

В связи с уменьшением норматива по остаточному алюминию с 0,5 до 0,2 мг/л во многих случаях при очистке воды поверхностных водоисточников основным показателем, диктующим необходимую степень очистки воды, может быть остаточный алюминий. В то же время концентрация остаточного алюминия зависит от качества исходной воды и глубины ее очистки по таким показателям, как мутность, цветность, ПО и др.

Как правило, при очистке цветных маломутных вод взвешенные вещества, которые остаются в очищенной воде после фильтров или контактных осветлителей, состоят в основном из продуктов гидролиза коагулянта, что обуславливает повышение концентрации остаточного алюминия. В связи с этим содержание остаточного алюминия может зависеть от мутности воды. Уменьшение содержания в воде мутности и соответственно остаточного алюминия достигается путем интенсификации процессов осветления: повышения эффективности хлопьеобразования и улучшения работы отстойников и фильтров.

В определенных условиях в обработанной воде могут присутствовать и растворенные соединения алюминия, которые не задерживаются при осветлении воды в отстойниках и на фильтрах.

Повышение в воде концентрации растворенного алюминия, как правило, связано с образованием комплексных его соединений с гумусовыми веществами. Комплексообразование алюминия с органическими веществами происходит путем взаимодействия ионов алюминия с их функциональными группами.

Образование растворимых комплексных соединений алюминия с гумусовыми веществами подтверждается зависимостью концентрации алюминия от цветности воды после коагуляции. Чем больше остаточная цветность воды, тем выше концентрация остаточного алюминия при условии отсутствия взвешенных веществ в воде.

Кроме того, растворимость продуктов гидролиза сульфата алюминия зависит от величины pH воды, ее ионного состава и температуры. По имеющимся литературным данным, подтвержденным экспериментальными исследованиями, в диапазоне pH 4,5-5,5 и 7,2-8,0 в воде после коагуляционной обработки может содержаться от 0,05 до 0,5 мг/л остаточного алюминия в виде растворенных соединений. Принято считать, что основные соединения, которые могут находиться в равновесии с гидроокисью алюминия Al(OH)₃ при pH < 6 – Al³⁺, Al(OH)₂²⁺ и Al₈(OH)₂₀⁴⁺, а при pH > 6 – Al(OH)₄⁻.

Присутствие органических веществ, обуславливающих цветность воды, может повысить растворимость продуктов гидролиза коагулянта и значительно сузить (до 6,5-7,0) диапазон значений pH, в котором растворимость этих соединений минимальна. При этом, чем больше остаточная цветность воды, тем выше концентрация растворенного алюминия, и тем уже диапазон оптимальных значений pH.

Таким образом, для выполнения нормативных требований по остаточному алюминию необходимо осуществлять более глубокую очистку воды по снижению как мутности, так и цветности. Кроме того, процесс коагуляции следует проводить при оптимальных значениях pH для уменьшения количества растворенных соединений алюминия в очищенной воде.

Анализ опыта работы водопроводных станций и полученные Драгинским В.Л., Алексеевой Л.П. и другими исследователями данные показывают, что для большинства станций, а практически для всех действующих станций и очистных сооружений, основной проблемой и главной технологической задачей являются совершенствование и оптимизация режима реагентной обработки воды с применением коагулянтов.

Основными факторами, существенно влияющими на интенсификацию процесса коагуляции примесей воды в объеме, являются следующие:

1) С увеличением дозы коагулянта до оптимальной скорость хлопьеобразования возрастает. Способствуют этому процессу также повышение температуры и перемешивание воды. В зимнее время при низких температурах очистка воды сульфатом алюминия протекает неудовлетворительно. Коагулирование примесей воды в образующейся при гидролизе коагулянта коллоидной системе – самый медленный процесс, тормозящий хлопьеобразование и осаждение гидроксида алюминия. Это объясняется тем, что при низких температурах снижаются подвижность коллоидных частиц и частота их соударений, обуславливающих агломерацию. Снижение температуры воды от 20 до 1 °C увеличивает период коагуляции примерно в 1,5 раза вследствие уменьшения кинетической подвижности примесей воды и повышения ее вязкости, которая при температуре 1 °C примерно в 2 раза выше.

2) Подвижность примесей воды в процессе коагуляции увеличивается при ее перемешивании. Так, улучшение хлопьеобразования наблюдается при улучшении работы гидравлических смесителей за счет удлинения времени перемешивания и других факторов. Но самым существенным этапом, позволяющим значительно повысить эффективность хлопьеобразования и последующего осветления взвеси, является механическое перемешивание обрабатываемой воды с введенным в нее коагулянтом.

3) Предварительная обработка воды окислителями также повышает эффективность коагуляции. Это объясняется тем, что окислители разрушают гидрофильные органические соединения, стабилизирующие дисперсные примеси воды, и облегчают условия протекания коагуляции. Особенно эффективно применение окислителей при обработке маломутных цветных вод.

При этом возрастает гидравлическая крупность хлопьев коагулированной взвеси и интенсифицируется осветление воды.

На основании изложенного возможные методы улучшения очистки воды коагулированием могут быть разделены на несколько групп:

- а) изменение режима реагентной обработки в пределах используемого на станции сульфата алюминия и ПАА;
- б) добавление к существующей технологии дополнительных реагентов или минеральных и сорбционных материалов;
- в) рециркуляция коагулированной взвеси в зону введения коагулянта;
- г) перемешивание воды аэрацией или использование в смесителях и камерах хлопьеобразования механического смешения реагентов с водой;
- д) замена сульфата алюминия и ПАА на другие более эффективные в данных условиях коагулянты и флокулянты;
- е) применение окислителей: хлора, озона и др.;
- ж) использование физических методов в дополнение к реагентной обработке воды: обработка воды в магнитном и электрическом поле; воздействие ультразвуком или ультрафиолетовым облучением и др.;
- з) улучшение или изменение технического и технологического состояния очистных сооружений, в частности, отстойников и фильтров, а также режима и условий их эксплуатации.

Как видно из перечисленного неполного перечня мероприятий, часть из них выполняется в пределах существующей технологии, другие требуют определенной (небольшой или существенной) реконструкции сооружений или изменения технологической схемы обработки, и, наконец, некоторые предложения требуют нового строительства и применения нового технологического оборудования.

Решения по применяемым методам должны приниматься в зависимости от качества исходной воды и приоритетных видов ее загрязнений, для которых подбираются оптимальные условия коагулирования (вид и доза коагулянтов и флокулянтов, место и порядок их введения, предварительное окисление хлором или другими окислителями, режимы перемешивания и пр.), которые позволяют обеспечить необходимую степень очистки воды в процессе ее осветления.

Из этих же условий, а также из анализа работы водопроводной станции и результатов технологических изысканий, проведенных на объекте, выбираются и дополнительные методы обработки воды.

Ниже остановимся подробнее на каждом из методов совершенствования процесса реагентной обработки воды коагулированием.

Изменение способа реагентной обработки воды

Обычно коагулянт вводится в обрабатываемую воду непрерывно одной полной дозой в определенную точку. Со времени использования реагентной обработки воды на многих водопроводных станциях применялись различные способы введения коагулянта, позволяющие уменьшить расход реагента и соответственно уменьшить эксплуатационные расходы на его приобретение.

К таким способам относились:

- фракционное введение реагента;
- раздельное (концентрированное) коагулирование;
- прерывистое коагулирование;
- работа на дефицитных дозах коагулянта и пр.

Фракционное (дробное) коагулирование предусматривает добавление расчетного количества коагулянта к воде не одной, а двумя или несколькими последовательными порциями через определенные промежутки времени.

Технологический эффект, достигаемый при фракционировании дозы коагулянта, с кинетической точки зрения можно объяснить образованием в результате гидролиза первых порций коагулянта твердой фазы, выступающей в роли центров хлопьеобразования при гидролизе последующих порций коагулянта, что приводит к более полному использованию промежуточных комплексов алюминия. Так, например, полностью доза коагулянта может быть введена несколькими порциями в различные точки смесителя или перед поступлением воды в камеру хлопьеобразования.

Фракционирование дозы коагулянта может обеспечить более эффективное снижение цветности и уменьшение концентрации остаточного алюминия.

Раздельное (концентрированное) коагулирование заключается в дозировании всего количества коагулянта лишь в часть обрабатываемой воды. После смешения с коагулянтom поток обработанной воды объединяют (обычно в начале камер хлопьеобразования) с потоком остальной, некоагулированной воды.

При использовании этого метода может быть получена экономия коагулянта до 20 % и достигнуто более глубокое снижение остаточного алюминия и дополнительное уменьшение мутности и цветности воды. Преимущества концентрированного коагулирования объясняются тем, что распределение всего коагулянта в части воды создает условия для ускоренного хлопьеобразования, а после смешения с необработанной водой хлопья, сформированные в условиях повышенной концентрации коагулянта, способствуют лучшему протеканию процессов осветления воды.

Прерывистое (периодическое) коагулирование основано на более полном использовании свойств продуктов гидролиза коагулянта при их избытке. Оно содержит элементы метода концентрированного коагулирования и состоит в чередовании периодов подачи в обрабатываемую воду увеличенных доз коагулянта с периодами полного прекращения коагулирования. Например, в течение 2 ч воду коагулируют необходимой дозой, затем 2 ч воду не коагулируют; при этом уменьшается расход коагулянта на 30-40 %, а также уменьшается нагрузка на очистные сооружения.

Работа на дефицитных дозах коагулянта наиболее эффективна в случаях контактной коагуляции воды и приводит, естественно, к экономии коагулянта, порой за счет некоторого ухудшения качества воды.

Все эти предлагаемые методы не всегда дают положительные результаты и существенно зависят от pH воды. Так, при обработке малоцветных вод при

высоких значениях pH (от 7,6 до 8) фракционное введение коагулянта приводит к образованию растворенных продуктов гидролиза алюминия, обладающих малой величиной положительного заряда или даже отрицательным зарядом, что затрудняет взаимодействие продуктов гидролиза с отрицательно заряженными гумусовыми веществами и образование твердой фазы.

Метод концентрированного коагулирования также существенно зависит от свойств обрабатываемой воды. По-видимому, в условиях низких значений pH могут формироваться развитые полимерные структуры, на которые дальнейшее повышение pH (за счет смешения с основным потоком воды) не оказывает заметного действия.

Ранее (до 1995-1999 гг.) на многих водопроводных станциях проводилось периодическое коагулирование воды или применялся один из способов, указанных выше. Однако в то время основными ингредиентами, определяющими степень и глубину очистки воды при коагулировании, являлись в основном мутность или цветность воды и концентрация остаточного алюминия. При таком проведении коагулирования не всегда удавалось обеспечить значения цветности воды ниже 20 град, и требовалось получение разрешения Санэпидстанции на повышение величины цветности до 30-35 град.

Во многих случаях в зимний период при небольших значениях мутности и цветности (до 1,5-2 мг/л и 20-25 град) на ряде станций коагулирование вообще прекращалось, так как вода по этим показателям отвечала требованиям действовавшего тогда ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая».

Анализ качества очищенной воды при работе в режиме прерывистого коагулирования показал, что величина показателя ПО в зависимости от периода года изменялась от 5,2 до 7,5 мгО₂/л, а концентрация остаточного алюминия достигала предела ПДК и составляла 0,45-0,48 мг/л.

С введением в действие СанПиН 2.1.4.1074.01 и появлением ПДК на показатель перманганатной окисляемости при обычной схеме обработки воды выполнить новые требования на водопроводных станциях без изменения режима очистки воды, как правило, стало невозможно.

Как было установлено, чаще всего диктующими показателями качества в процессе осветления воды коагулированием были не только цветность и мутность, но и концентрация остаточного алюминия или перманганатная окисляемость. Поэтому вопреки существующей ранее практике экономии коагулянта и стремлению работать на меньших дозах обеспечение норматива по перманганатной окисляемости требует порой повышения необходимых доз коагулянта.

Кроме того, введение новых микробиологических показателей и повышенных требований к ним также создает необходимость проведения постоянного коагулирования воды, даже в зимнее время, повышения глубины очистки воды по всем показателям для обеспечения надежности работы водопроводной станции в целом.

Практически на всех водопроводных станциях в дополнение к коагулянту применяют полиакриламид. В соответствии с рекомендациями нормативных

документов разрыв во времени между введением реагентов должен составлять 2 мин. Однако на практике оба реагента часто вводят практически в одну точку. В результате такого введения эффективность хлопьеобразования существенно снижается. Поэтому для эффективного использования флокулянта должно быть обеспечено определенное время между начальным моментом коагуляции и введением флокулянта в соответствии с рекомендуемым разрывом во времени. Этот промежуток времени может изменяться в зависимости от качества исходной воды, в основном от ее мутности, температуры и технологического режима обработки воды на конкретной водопроводной станции. Устанавливается он путем пробного коагулирования и флокулирования.

При обработке маломутных цветных вод и особенно в холодные периоды года хлопьеобразование протекает вяло, хлопья образуются мелкие, практически не оседающие в отстойниках. В таких случаях вся нагрузка ложится на фильтровальные сооружения, в результате уменьшается продолжительность фильтрационных циклов и увеличивается количество промывок, качество воды при этом – не всегда удовлетворительное.

В эти периоды года на станциях целесообразно использовать метод контактной коагуляции на фильтрах с введением реагента непосредственно перед фильтрующей загрузкой. Подача раствора реагента может осуществляться перед каждым фильтром или в сборный канал (или трубопровод), подающий воду из отстойников.

Регулирование величины рН воды

Как было показано выше, рН исходной воды существенно влияет на процесс коагулирования и качество очищенной воды в отношении остаточного алюминия, особенно при использовании сульфата алюминия.

В случае, если очищенная вода содержит остаточный алюминий в виде растворимых комплексов с органическими веществами в области значений рН 7,3-7,7, то с помощью незначительного увеличения дозы коагулянта можно добиться дополнительного снижения цветности и одновременно снижения рН. Это будет способствовать уменьшению растворимости продуктов гидролиза сульфата алюминия и соответственно уменьшится концентрация остаточного алюминия.

При низких значениях рН, характерных для коагуляционной обработки воды с малой исходной щелочностью, также возможно образование растворимых комплексных соединений алюминия с органическими веществами, которые не задерживаются фильтрующей загрузкой. Поэтому при очистке цветных вод с низкой исходной щелочностью необходимо тщательно подбирать дозы коагулянта и подщелачивающего реагента (извести или соды) в целях глубокого снижения цветности при значениях рН 6,1-6,4, обеспечивающих минимальную растворимость гидроксидов алюминия.

В одном случае подщелачивание следует проводить в два этапа: до коагулянта и после коагулянта перед отстойником или даже перед фильтрами. Первая доза обеспечивает проведение коагулирования гумусовых веществ при

оптимальных низких значениях pH 5,5-6,0, а вторая способствует ускорению образования осадка гидроксида алюминия и улучшению осветления воды.

В некоторых случаях наиболее целесообразно проводить подщелачивание воды после ее обработки коагулянтом. При этом достигается более глубокое снижение цветности и соответственно концентрации растворенного алюминия при меньших дозах коагулянта. Полученный эффект объясняется тем, что при введении коагулянта в воду до подщелачивающего реагента взаимодействие гидрокомплексов алюминия с гумусовыми веществами проходит при благоприятных для этого процесса низких значениях pH. Последующее повышение pH снижает растворимость образовавшихся продуктов гидролиза алюминия, и они в виде твердой фазы задерживаются на очистных сооружениях.

Применение минеральных замутнителей или сорбционных материалов

Для улучшения протекания коагуляционных процессов, особенно при обработке маломутных цветных вод, в исходную воду добавляются различные материалы, в частности, осуществляется замутнение воды, например глиной.

Внесение искусственных замутнителей, частицы которых играют роль дополнительных центров коагуляции, способствует повышению скорости хлопьеобразования при очистке маломутных вод. Замутнение резко усиливает флокулирующее действие полиэлектролитов.

Одновременно с этим происходит утяжеление хлопьев коагулированной взвеси, увеличение их гидравлической крупности. При замутнении воды большую роль играет степень дисперсности вводимых частиц. Существенно (на 30-60 %) ускоряется процесс хлопьеобразования при добавлении частиц размером меньше 3 мкм. Рекомендуется вводить в воду высокодисперсную глинистую взвесь в количестве 10 мг/л.

Однако в настоящее время широкого распространения этот метод не получил, возможно, в связи с необходимостью дозирования в воду еще одного реагента. Кроме того, сам принцип увеличения количества взвешенных веществ при их отсутствии в исходной воде является несколько порочным, так как целесообразнее найти более приемлемый и эффективный способ очистки маломутной воды.

Для повышения прочности и плотности хлопьев, их адгезионной и сорбционной способности предлагаются различные методы, основанные на добавлении порошкообразного клиноптилолита, порошкообразного активного угля (ПАУ). В качестве замутнителя может рассматриваться известь и промывная вода, возвращаемая в «голову» сооружений.

Использование физических методов

К физическим методам относятся:

- магнитная обработка. Считается, что омагничивание воды изменяет свойства продуктов гидролиза алюминия;

- наложение электрического поля, которое интенсифицирует процесс коагуляции за счет ускорения процессов формирования и осаждения коагулированной взвеси, полученной при обработке сульфатом алюминия природных вод;

- воздействие ультразвуком.

Эффективность указанных методов однозначно не подтверждается. С одной стороны, исследователи показывают, что они улучшают процесс очистки воды, в других работах даются противоположные результаты. Может быть, поэтому указанные методы не нашли применения в технологии очистки воды в коммунальном хозяйстве.

Механическое смешение реагентов с водой

Значительное влияние на процесс образования хлопьев и их свойства оказывают интенсивность и продолжительность смешения реагентов с водой, а это в свою очередь влияет на процесс осветления и качество очищенной воды.

Для того чтобы достигнуть эффективной очистки воды от коллоидно-взвешенных веществ, необходимо обеспечить наиболее благоприятные условия для гидролиза коагулянтов и максимальную скорость образования мицелл и агрегатов золь на первом этапе процесса коагуляции в свободном объеме, а также максимальную скорость образования достаточно крупных и быстрооседающих хлопьев на последующем этапе.

Одним из наиболее эффективных методов интенсификации процесса коагулирования воды является повышение интенсивности перемешивания коагулянта с водой. В этом случае увеличивается плотность хлопьев и ускоряется процесс их осаждения. Как показывает опыт эксплуатации очистных сооружений водопроводных станций, перемешивание, осуществляемое в гидравлических смесителях и камерах хлопьеобразования, явно недостаточно эффективно для создания оптимальных условий осветления воды.

Важным этапом при очистке воды коагулированием является нейтрализация коллоидных частиц загрязнений. Время коагуляции очень мало, и наилучшие результаты достигаются при условии, когда коллоидные частицы полностью нейтрализованы до образования хлопьев в форме гидроксида металла. Поэтому считается, что назначение смесителей состоит не только в равномерном распределении коагулянта в обрабатываемой воде до момента образования хлопьев во всей массе, но и в чрезвычайно быстром смешении, чтобы коагулянт вступил в контакт с максимальным числом частиц загрязнений до того, как закончатся реакции гидролиза и полимеризации. Это имеет решающее значение для последующих стадий коагуляции и экономии коагулянта.

Гидравлические смесители, как правило, не обеспечивают оптимального протекания процессов коагуляции, особенно в холодное время года из-за повышения вязкости дисперсионной среды и уменьшения степени гидролиза

коагулянта, в результате очищенная вода не всегда соответствует стандарту по мутности и остаточному алюминию.

Другим важным этапом, от которого зависит эффективность очистки воды, обработанной минеральными и органическими реагентами, является процесс образования хлопьев (ортокинетическая коагуляция), протекающий в камерах хлопьеобразования.

Равномерное медленное перемешивание в камере хлопьеобразования благоприятствует укрупнению мелких хлопьев, способных сравнительно легко осесть в отстойниках.

Общим недостатком всех гидравлических камер хлопьеобразования является то, что в них невозможно изменить интенсивность турбулизации потока при изменении условий, например, при понижении температуры воды или ее состава. Они не позволяют регулировать интенсивность перемешивания и влиять на эффективность хлопьеобразования при изменении качества исходной воды по сезонам года, а иногда и в течение более короткого времени.

Использование механических мешалок в смесителях и камерах хлопьеобразования позволяет поддерживать устойчивый режим хлопьеобразования независимо от расхода обрабатываемой воды, а также регулировать режим перемешивания при изменении качества воды. Они повышают эффективность очистки воды благодаря обеспечению оптимальной интенсивности смешения, т. е. способствуют образованию более плотных хлопьев, отделению углекислоты и ускорению процесса седиментации.

Целесообразность применения механических мешалок подтверждается опытом работы водоочистных станций за рубежом и в России.

Применение механических смесителей и камер хлопьеобразования взамен гидравлических позволяет достичь следующих результатов:

- повысить степень осветления воды в отстойниках;
- уменьшить грязевую нагрузку на фильтровальные сооружения;
- улучшить качество очищенной воды по основным показателям;
- обеспечивается возможность регулирования процесса хлопьеобразования, которое необходимо при изменении качества и температуры исходной воды. Это позволяет повысить надежность и стабильность работы водопроводных станций даже в условиях значительных колебаний качества исходной воды;
- значительно интенсифицируется процесс хлопьеобразования по сравнению с процессом в гидравлической камере и обеспечивается сокращение времени пребывания воды в отстойниках;
- в отдельные периоды года снизить дозу коагулянта.

Применение современных реагентов: коагулянтов и флокулянтов

Когда в практике водоснабжения использовались только два традиционных классических реагента — сульфат алюминия и полиакриламид, то при обсуждении интенсификации процессов коагулирования говорилось о мероприятиях, связанных с этими двумя основными реагентами.

В настоящее время имеется громадный арсенал новых коагулянтов и флокулянтов анионного и катионного типа, что позволяет подбирать наиболее эффективные реагенты для каждой конкретной станции водоподготовки, и даже для отдельных сезонов года.

Применение окислителей: хлора и озона

Первичное хлорирование воды осуществляется не только для обеззараживания, но и для борьбы с планктоном, поддержания необходимого санитарного состояния водоочистных сооружений, а также для снижения цветности и интенсификации процессов коагуляции. Введение хлора обычно предшествует коагуляции.

Предварительное озонирование воды предназначено для удаления загрязнений антропогенного происхождения, таких как фенолы, нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), пестициды, амины и многие другие, которые практически не удаляются на сооружениях с традиционной технологией очистки. Озонирование применяется также для удаления загрязнений природного происхождения:

- гуминовых веществ, обуславливающих цветность воды;
- специфического запаха и привкуса, появляющегося при повышенных концентрациях планктона, а также для устранения выделяемых планктоном ядовитых веществ;
- привкусов и запахов (почвы, плесени, травы, рыбы и др.), продуцируемых различными водными организмами;
- неорганических соединений, таких как железо, марганец, сероводород.

Кроме того, озон является более эффективным, чем хлор, дезинфицирующим реагентом в отношении спор и вирусов, а также его роль существенна при обеззараживании воды.

Наиболее целесообразно озонирование применять совместно с сорбционной очисткой, при этом достигается глубокое удаление из воды органических загрязнений, обеспечивается высокое качество питьевой воды.

Практически во всех случаях установлено, что предварительное озонирование позволяет повысить качество очищенной воды по мутности, цветности и перманганатной окисляемости. В некоторые периоды существует оптимальная доза озона, при которой концентрация остаточного алюминия в очищенной воде меньше, чем в неозонированной очищенной.

2.3. Смешение реагентов с водой и камеры хлопьеобразования

2.3.1. Смесители

Основополагающим условием успешного коагулирования примесей воды является равномерное и быстрое распределение реагентов в её объеме для обеспечения максимального контакта частиц примесей с промежуточными продуктами гидролиза коагулянта, существующими в течение короткого промежутка времени, так как процессы гидролиза, полимеризации и адсорбции протекают за несколько секунд. Первая фаза конвективной коагуляции – перекинетическая, заканчивается, когда первичные хлопья достигают размеров 1-10 мкм, что совпадает с периодом быстрого распределения коагулянта в обрабатываемой воде. Недостаточное смешение влечет за собой перерасход реагентов и малую скорость агломерации примесей воды при данной дозе. Поэтому необходимо обеспечить оптимальные условия смешения реагентов с водой, при которых коагулянт вступил бы в контакт с максимальным числом частиц примесей воды до того, как произойдут реакции гидролиза и полимеризации.

Эффективность действия коагулянта повышается при увеличении интенсивности смешения. При этом дозы реагентов и время, необходимые для их полного распределения в воде, уменьшаются с повышением градиента скорости. В водоподготовке наметилась тенденция к применению смесителей, обеспечивающих чрезвычайно быстрое распределение коагулянта в обрабатываемой воде. В основном это механические и трубчатые смесители.

Интенсивность перемешивания воды с растворами реагентов оценивается градиентом перемешивания G .

$$G = \sqrt{\frac{N_{yd}}{\mu}} = \sqrt{\frac{E}{W \cdot t \cdot \mu}}, \text{ с}^{-1} \quad (2.2)$$

где N_{yd} – удельный поток энергии, определяемый как мощность, отнесенная к единице объема перемешиваемой воды; E – энергия, затрачиваемая на смешение воды; μ – динамический коэффициент вязкости; W – объем воды в смесителе; t – продолжительность смешения.

Режим смешения оценивается критерием Кэмпбелла.

$$K = G \cdot t = t \sqrt{\frac{N_{yd}}{\mu}} \quad (2.3)$$

где t – продолжительность смешения, с.

Для равномерного и быстрого смешения реагентов с водой их следует вводить в точках наибольшей турбулентности потока.

При изменяющемся качестве исходной воды в различные сезоны года, особенно при наличии в ней устойчивой дисперсной фазы, необходимо

регулирование процессов перемешивания воды с реагентами. Оптимальным режимом можно считать такой, при котором продолжительность перемешивания будет минимальной, а хлопьеобразование обеспечит образование прочных агрегатов хлопьев с возможно большим содержанием в них твердой фазы.

Смешение реагентов с водой происходит в несколько этапов:

этап 1 – неравномерное распределение реагента в массе потока;

этап 2 – выравнивание неравномерности распределения реагента, происходящее благодаря переносу примеси крупномасштабными пульсациями, а также вследствие одновременно происходящего массового распада крупномасштабных пульсаций.

этап 3 – равномерное распределение реагента во всем потоке (объеме) в результате массового, многократного измельчения пульсаций с частичным затуханием их.

Для равномерного и быстрого смешения реагентов с водой их следует вводить в зонах наибольшей турбулентности потока в нескольких точках его сечения. Как доказали результаты исследований в НИИ КВОВ, АКХ для смешения реагентов с водой необходимо предусматривать реагентораспределители (устройства ввода реагентов, рис. 2.4), обеспечивающие их быстрое равномерное распределение в подающем канале или трубопроводе, и смесители, где происходит последующее интенсивное смешение введенных реагентов с обрабатываемой водой. Реагентораспределители рекомендуется выполнять в виде перфорированных трубчатых систем или вставок в трубопровод, представляющих собой местные сопротивления. Потерю напора в трубопроводе при установке указанных устройств соответственно принимают 0,1...0,2 и 0,2...0,3 м.

Реагенты смешивают с обрабатываемой водой в смесительных устройствах (сопла Вентури, диафрагмы), трубчатых смесителях или в специальных сооружениях – смесителях, которые должны удовлетворять требованию полного и быстрого смешения реагентов со всей массой воды (время пребывания воды в этих сооружениях 0,5-2 мин.).

Смесители – это сооружения, в которых происходит смешение реагентов с обрабатываемой водой.

Смесители классифицируют на гидравлические и механические. Они бывают открытыми (с открытым зеркалом воды) и закрытыми (работающими под давлением).

Гидравлические смесители – сооружения, работа которых основана на принципе использования для смешения непосредственно энергии самой воды.

К гидравлическим смесителям, хорошо зарекомендовавшим себя на практике, следует отнести: коридорного типа (с вертикальным и горизонтальным движением воды); дырчатый (напорный и безнапорный), перегородчатый с разделением потока; вертикальный вихревой.

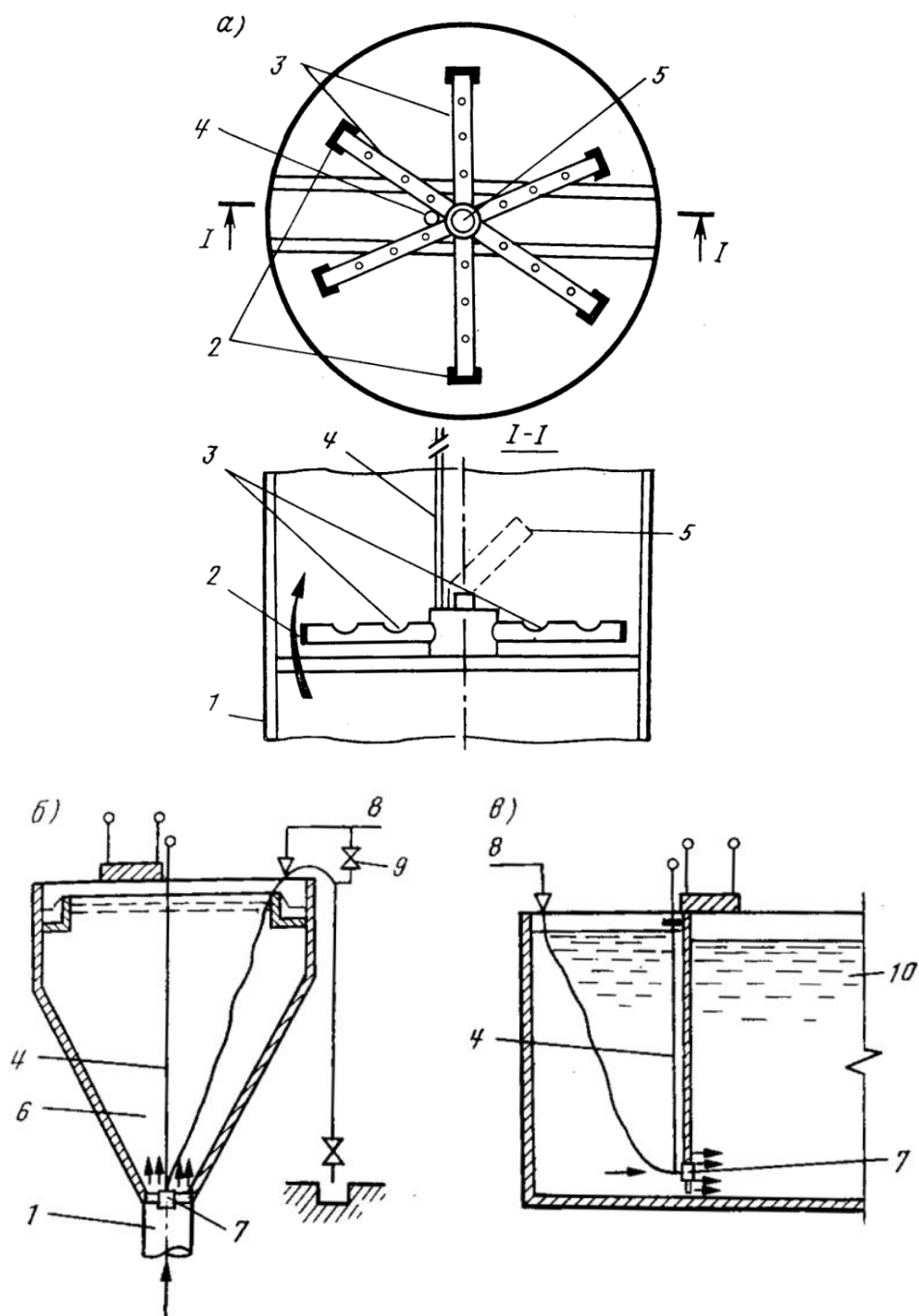


Рис. 2.4. Перфорированный распределитель коагулянта (а) и его размещение в вихревом смесителе (б) и перегородчатом (в):

1 – трубопровод обрабатываемой воды; 2 – заглушка; 3 – перфорированная трубка-луч; 4 – разъемная штанга; 5 – штуцер для присоединения шланга подачи коагулянта; 6 – вихревой смеситель; 7 – реагентораспределитель; 8 – подача коагулянта через приемную воронку; 9 – зарядка сифона; 10 – перегородчатый смеситель

Классификация гидравлических смесителей.

а) по характеру сопротивления:

- с переменным сопротивлением (ершовый, вихревой, перегородчатый, гидравлический прыжок в быстройтоке);

- с постоянным сопротивлением (дырчатый, стаканчатый, труба Вентури, диафрагма в трубе, гидравлический прыжок в трубе и при истечении из-под щита).

б) по степени аэрации потока:

- сильно аэрирующие поток (гидравлический прыжок с истечением из-под щита);

- незначительно аэрирующие поток (ершовый, перегородчатый, гидравлический прыжок в быстроток);

- слабо, или вовсе не аэрирующие поток (дырчатый, диафрагма в трубе, труба Вентури).

в) по использованию турбулентного потока:

- использующие турбулентность искусственно создаваемых местных сопротивлений (ершовый, дырчатый, стаканчатый, перегородчатый, труба Вентури, диафрагма в трубе);

- использующие турбулентность изменения состояния потока (гидравлический прыжок в каналах, трубах, «перепад»);

- использующие турбулентность искусственных потоков (лотки, трубы и желоба, приспособляемые для смешения).

Работа смесителей гидравлического типа основана на использовании турбулентности потока, создаваемой местными сопротивлениями путем трехкратного увеличения в них скорости движения воды с 0,4-0,6 до 1 м/с. Гидравлические смесители отличаются конструктивной простотой и эксплуатационной надежностью, однако при расходах обрабатываемой воды меньше расчетных они не обеспечивают надлежащего эффекта смешения. Кроме того, недостатком способов смешивания реагентов в гидравлических смесителях является невозможность регулирования степени турбулизации и времени пребывания в смесителе в зависимости от расхода обрабатываемой воды и её качества.

Выбор типа и конструкции смесителя определяется компоновкой водоочистного комплекса с учетом его пропускной способности и методов обработки воды, а также технологическими соображениями. Число секций смесителей принимается не менее двух, резервные аппараты не предусматриваются.

Широкое распространение получили **перегородчатые смесители** с разделением потока. Такой смеситель представляет собой железобетонный лоток с тремя (как минимум) щелевыми перегородками, установленными перпендикулярно оси сооружения. При движении в щелях со скоростью 1 м/с за ними образуются вихревые течения, что способствует быстрому и полному смешению реагента с водой. Расстояния между перегородками должны равняться двойной ширине лотка.

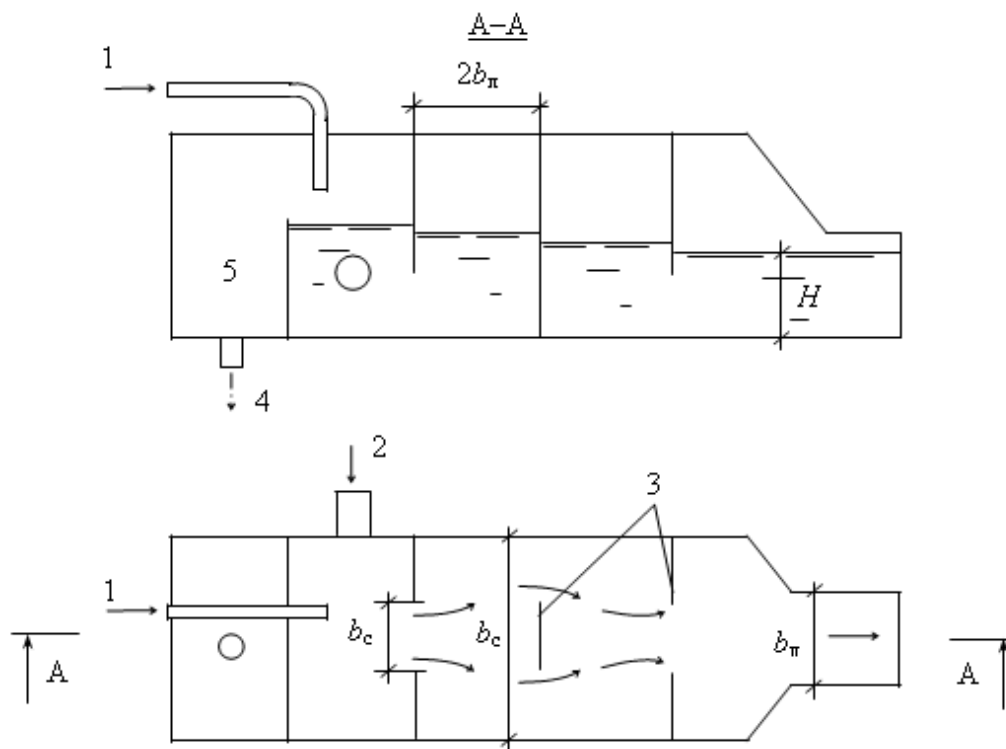


Рис. 2.5. Перегородчатый смеситель:
 1 – подача коагулянта; 2 – подача исходной воды (из водоисточника);
 3 – перегородки; 4 – переливная труба; 5 – переливная камера

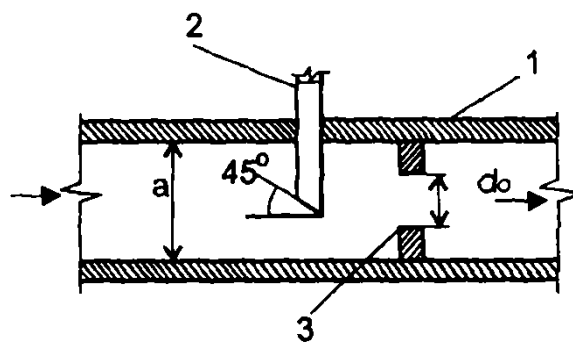


Рис. 2.6. Шайбовый смеситель:
 1 – трубопровод; 2 – трубка для ввода реагентов; 3 – шайба

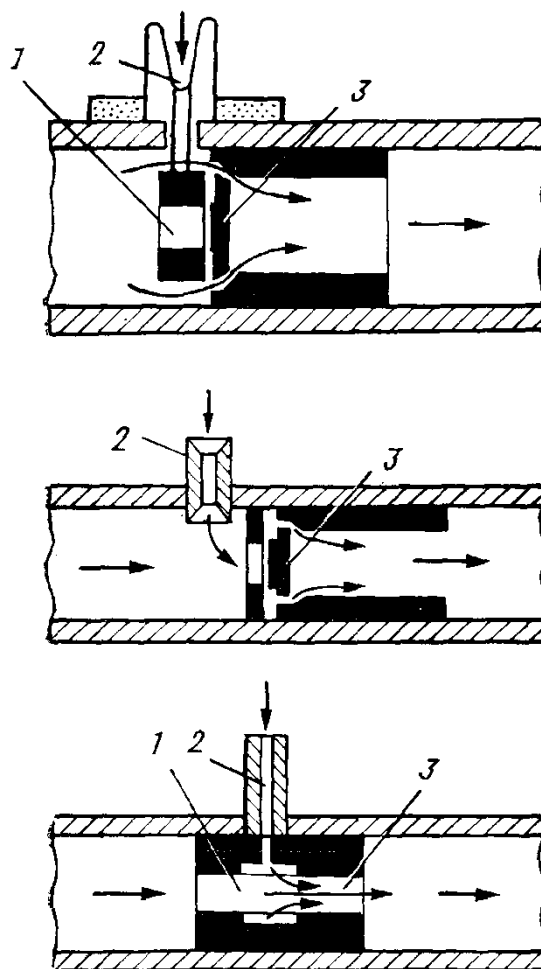


Рис. 2.7. Трубчатые смесители:

1 – распределитель реагента; 2 – подача реагента; 3 – местное сопротивление

Одним из приёмов интенсификации и улучшения процесса коагуляции является мгновенное перемешивание воды с коагулянтom **в диафрагмовом или шайбовом смесителе** (рис. 2.7) перед поступлением её в камеру хлопьеобразования или на контактные осветлители или фильтры. Использование этого устройства на установках небольшой пропускной способности позволяет создать наиболее благоприятный режим для смешения, в результате чего расход коагулянта снижается до 25%.

На небольших водоочистных установках применяют **трубчатые смесители**, которые характеризуются значительными потерями напора.

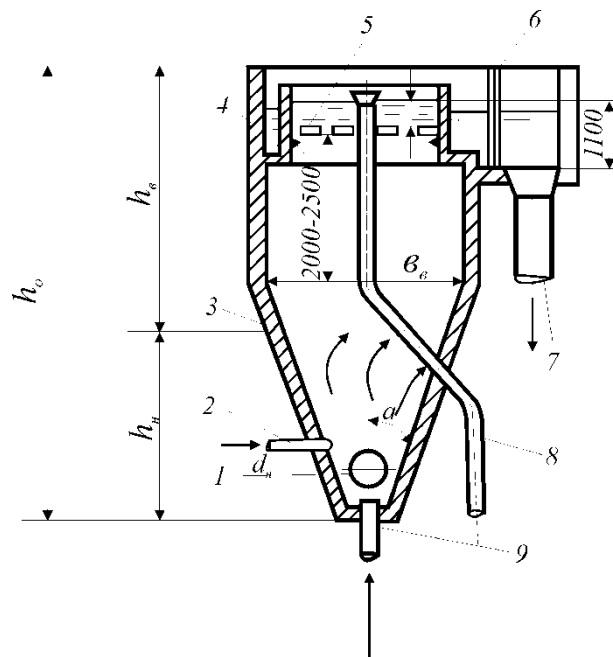


Рис. 2.8. Вертикальный смеситель:

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 опорожнения

Для водоочистных комплексов с осветителями рекомендуются **вертикальные (вихревые) смесители** в виде круглого (или квадратного) в плане резервуара с конической (или пирамидальной) нижней частью при угле конусности 30-45 градусов. В нижнюю часть конуса (или пирамиды) подводят обрабатываемую воду со скоростью 1,2-1,5 м/с и туда же, только с противоположной стороны, через специальные патрубки вводят растворы реагентов. Восходящая скорость движения воды в цилиндрической части смесителя высотой 1-1,5 м должна быть 30-40 мм/с, благодаря чему частицы реагента находятся во взвешенном состоянии. Отвод воды из смесителя производится периферийным лотком со скоростью 0,6 м/с или дырчатыми трубами с затопленными отверстиями, или центрально расположенной затопленной воронкой.

Дырчатый смеситель представляет собой лоток с дырчатыми перегородками, установленными перпендикулярно направлению движения воды. Вода, проходя через отверстия со скоростью 1 м/с, испытывает завихрения, что способствует её хорошему перемешиванию с реагентами. Диаметр отверстий принимают 20-100 мм. Верхний ряд отверстий должен быть затоплен под уровень воды на 0,1-0,15 м во избежание подсоса воздуха.

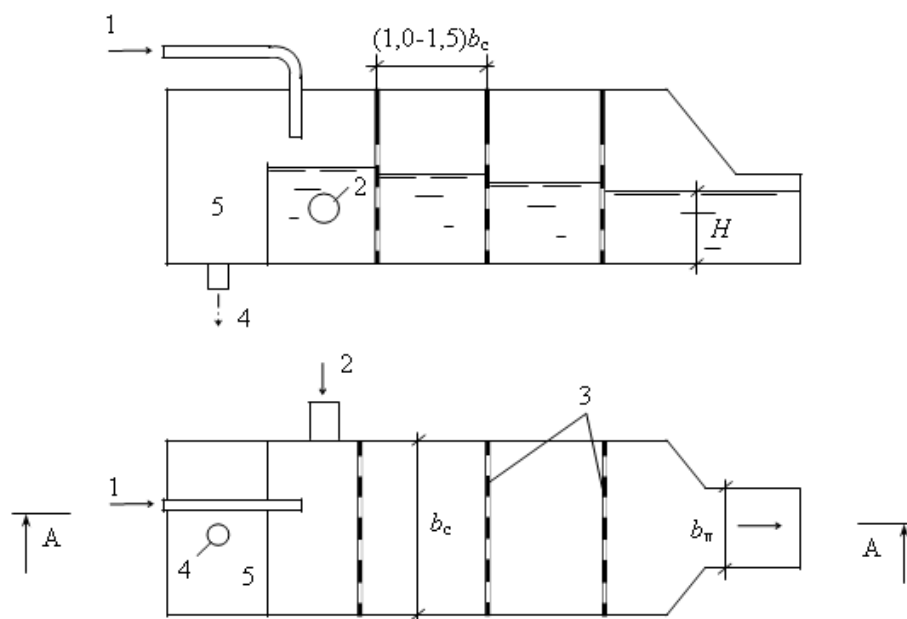


Рис. 2.9. Дырчатый смеситель:

1 – подача коагулянта; 2 – подача исходной воды; 3 – перегородки; 4 – переливная труба; 5 – переливная камера

Для лучшего смешения раствора реагентов с обрабатываемой водой и сокращением длины участка рекомендуется устраивать **сужения в напорном водоводе в виде трубы Вентури или диафрагмы (шайбы)**. Эти сужения позволяют несколько снизить пьезометрическое давление в месте ввода раствора реагентов в трубопровод и, следовательно, высоту расположения дозатора и обуславливают появление вихревых потоков в обрабатываемой воде, что благоприятствует смешению ее с реагентами.

Смеситель **эжекторного типа** служит для смешения реагентов непосредственно в напорном трубопроводе или во всасывающей трубе насоса.

На крупных водоочистных комплексах находят применение перегородчатые **смесители коридорного типа** с вертикальным или горизонтальным движением воды со скоростью 0,6-0,9 м/с при времени пребывания в них 3-5 мин. Число поворотов на 180 градусов принимают равным 9-10. Следует предусматривать возможность сокращения числа перегородок для уменьшения времени пребывания обрабатываемой воды в смесителе в периоды интенсивного хлопьеобразования.

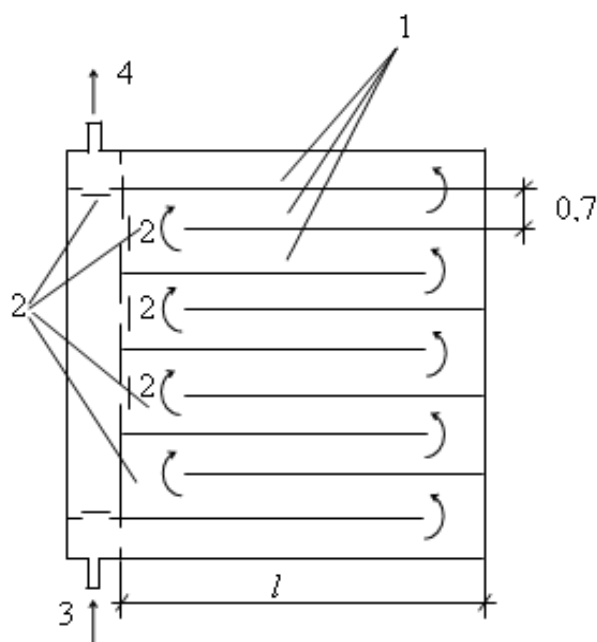


Рис. 2.10. Коридорный смеситель:

1 - коридоры; 2 - шиберы; 3 - подача исходной воды; 4 - отвод воды с реагентами

Оптимальный эффект коагуляции обеспечивает очень быстрый перенос частиц, который возможен только в высокоскоростных механических смесителях.

Механические смесители — сооружения, работа которых основана на принципе использования для смешения механической энергии. В механических смесителях турбулизация потока создается вращением лопастей или пропеллеров мешалки с электроприводом.

Классификация механических смесителей: лопастные (мешалки с плоскими лопастями); пропеллерные (мешалки с винтовыми лопастями); турбинные (смесители с турбинным колесом и насосы).

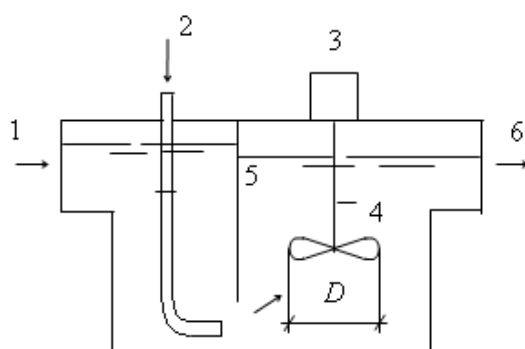


Рис. 2.11. Механический смеситель

1 – подача исходной воды; 2 – подача реагента; 3 – двигатель с приводом для мешалки; 4 – механическая мешалка; 5 – перегородка; 6 – отвод воды с реагентом

Применение механических смесителей связано с повышенными затратами электроэнергии и требует соответствующего обоснования. Однако такие смесители позволяют снизить удельные капитальные затраты, уменьшить расход реагентов, сократить время пребывания воды в отстойниках и

осветлителях со слоем взвешенного осадка, регулировать параметры смешения в соответствии с изменяющимся качеством и количеством обрабатываемой воды.

Механические смесители представляют собой круглые или квадратные в плане резервуары с соотношением высоты к ширине 2:1 с плоским или коническим днищем. Время пребывания воды в таких смесителях составляет 30-60 с. Мощность двигателей механических смесителей принимается 1-1,5 кВт на каждые 1000 м³/ч производительности станции. Количество лопастей мешалок на одном валу зависит от принятой глубины камеры смесителя. Скорость вращения их для турбинных мешалок принимают в пределах 80-100 мин⁻¹, для пропеллерных – 1500-1800 мин⁻¹.

2.3.2. Камеры хлопьеобразования

Для завершения второй стадии конвективной коагуляции примесей воды – ортокинетической используют камеры хлопьеобразования, которые предназначены для создания оптимальных условий для хлопьеобразования. На эффективность процесса и размеры формирующихся хлопьев при медленном перемешивании обрабатываемой воды влияют его интенсивность (градиент скорости) и продолжительность; характер и дисперсность примесей; солевой состав, щелочность и рН воды; доза коагулянта, а также силы адгезии, удерживающие частицы примесей в агломерированном состоянии. Агломерация образующихся в процессе гидролиза коагулянта хлопьев происходит постепенно в течение 6-30 минут и более.

Существенное влияние на процесс хлопьеобразования оказывают интенсивность и продолжительность перемешивания обрабатываемой воды в камерах хлопьеобразования. При этом основополагающей является интенсивность перемешивания $G = 50...60 \text{ с}^{-1}$; влияние продолжительности процесса проявляется в меньшей степени. Интенсивность перемешивания воды в камерах хлопьеобразования не должна быть большой, чтобы не разрушить образовавшиеся хлопья. Необходимая интенсивность перемешивания воды достигается изменением скорости её движения или частоты вращения мешалки во флокуляторах, а оптимальная продолжительность процесса обеспечивается надлежащим объемом сооружения.

По принципу действия камеры хлопьеобразования классифицируют на гидравлические и механические (флокуляторы и аэрофлокуляторы). Из камер гидравлического типа предпочтение отдают водоворотным, вихревым, перегородчатым и зашламленным типа. Все камеры, кроме перегородчатых, встраивают в отстойники. При числе камер хлопьеобразования менее 6 согласно СП необходимо предусматривать одну резервную. Конструкцию камеры хлопьеобразования следует выбирать исходя из качества исходной воды и типа отстойника.

К камерам хлопьеобразования гидравлического типа, хорошо зарекомендовавшим себя на практике, следует отнести камеры с

псевдооживленной зернистой загрузкой, с циркуляцией осадка, с контактной загрузкой.

Вихревая камера хлопьеобразования (рис. 2.12) выполняется в виде прямоугольного в плане железобетонного с коническим или пирамидальным днищем резервуара (с углом конусности 50-70 градусов, обращенным вниз). Перемешивание воды в камере хлопьеобразования происходит при ее движении снизу вверх вследствие уменьшения скорости движения (от 0,8-1,2 до 0,004-0,005 м/с) в результате резкого увеличения площади поперечного сечения. Время пребывания воды в камере составляет от 6 (для мутных вод) до 12 минут (для цветных вод). Передачу воды из камеры в отстойники следует осуществлять при скорости ее движения в сборных лотках или трубах не более 0,05 м/с для цветных вод и 0,1 м/с – для мутных. Для интенсификации работы камеры в ее верхней части могут размещаться тонкослойные модули.

Водоворотная камера хлопьеобразования совмещается с вертикальным отстойником и располагается в центральном стакане (рис. 2.13, а). Вода распределяется в верхней части камеры соплом, расположенном на расстоянии 0,2 диаметра камеры от стенки, на глубине 0,5 м от поверхности воды, или соплами, закрепленными в её центре в виде неподвижного сегнерова колеса. Выходя из сопел со скоростью 2-3 м/с, вода приобретает вращательное движение вдоль её стенок и движется сверху вниз. Для гашения вращательного движения воды при её переходе в отстойник, которое могло бы ухудшить его работу, внизу камеры устанавливают гаситель в виде решетки высотой 0,8 м с ячейками 0,5х0,5 м. Время пребывания воды в камере принимают 15-20 минут, а её высоту 3,5-4 м.

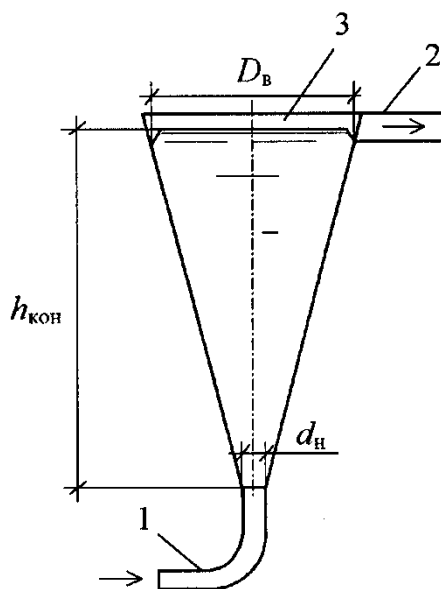


Рис. 2.12. Вихревая камера хлопьеобразования:

1 – подвод исходной воды; 2 – отвод воды после КХО; 3 – кольцевой желоб

Градиент скорости перемешивания в таких камерах определяют по формуле:

$$G = \left(\frac{\rho \cdot v^2 Q}{2w\eta} \right)^{0,5} \text{ с}^{-1}, \quad (2.4)$$

где v – скорость движения воды, м/с; ρ – плотность воды в кг/м³; η – вязкость воды в Па·с; Q – расход воды, м³/с; w – объем камеры, м³.

Перегородчатая камера хлопьеобразования (примыкает к горизонтальным отстойникам) представляет собой прямоугольный железобетонный резервуар с перегородками, образующими 9-10 коридоров шириной не менее 0,7 м, через которые последовательно проходит вода со скоростью 0,2-0,3 м/с в начале камеры и 0,05-0,1 м/с в конце.

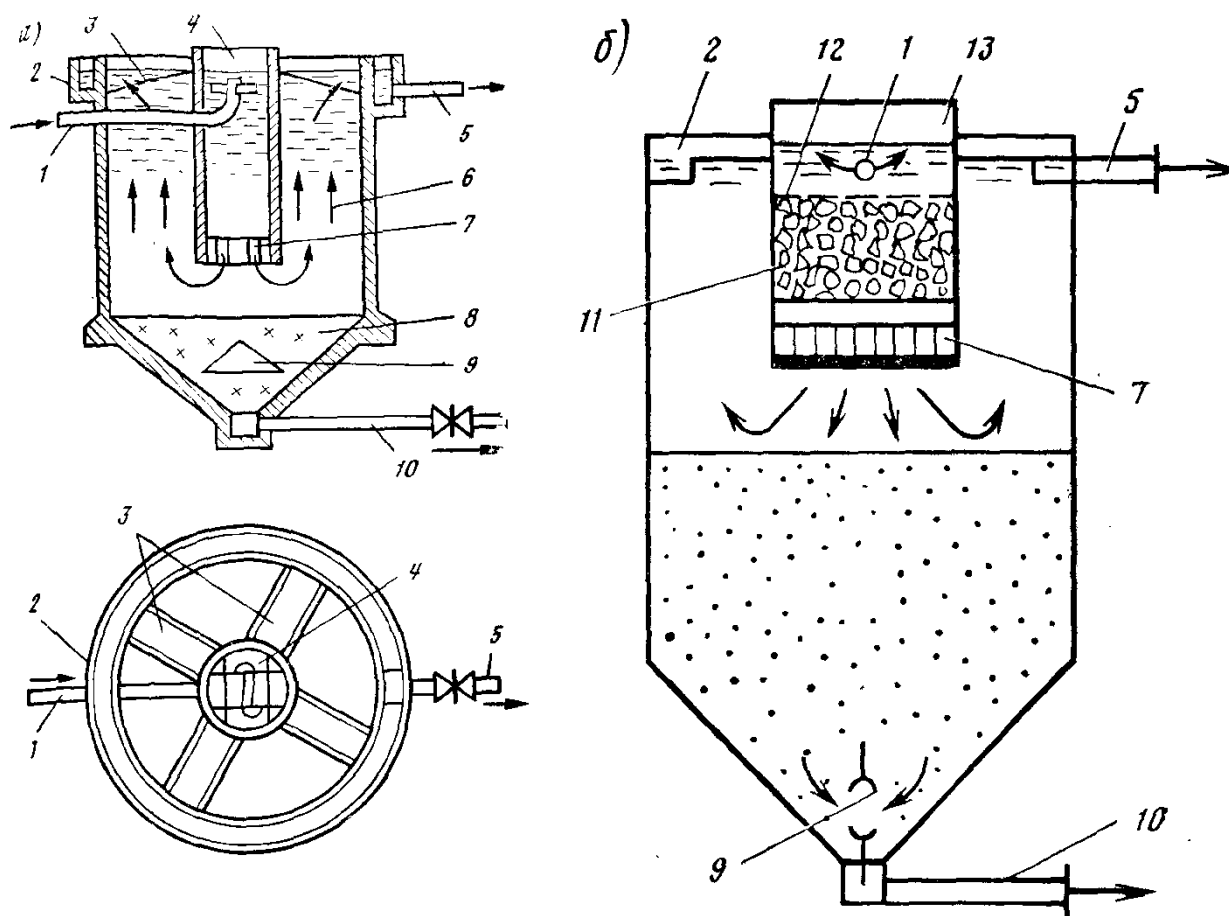


Рис. 2.13. Водоворотная (а) и контактная (б) камеры хлопьеобразования, встроенные в вертикальный отстойник:

1 и 5 – подача исходной и отвод осветленной воды; 2 и 3 – кольцевой и радиальные водосборные лотки; 4 – водоворотная камера; 6 – зона осветления воды; 7 – гаситель; 8 – зона накопления и уплотнения осадка; 9 – конусный отражатель; 10 – удаление осадка; 11 – контактная загрузка из вспененного полистирола; 12 – сетка; 13 – контактная камера

За счет увеличения ширины коридоров можно регулировать продолжительность пребывания обрабатываемой воды в камере в зависимости от её качества. Дно коридоров камеры выполняют с продольным уклоном 0,02-0,03 для удаления осадка при чистке. Среднюю глубину камера принимают 2-

2,5 м, продолжительность пребывания воды в камере – 20-30 минут (минимальное время для мутных вод, максимальное – для цветных вод с пониженной температурой).

Интенсивность перемешивания (градиент скорости) определяют для таких камер по формуле:

$$G = \left[\frac{(nv_1^2 + (n-1)v_2^2 Q\rho)}{2w\eta} \right]^{0.5}, \text{ с}^{-1} \quad (2.5)$$

где n – число перегородок; v_1, v_2 – скорости движения воды в коридорах камеры и на поворотах, м/с.

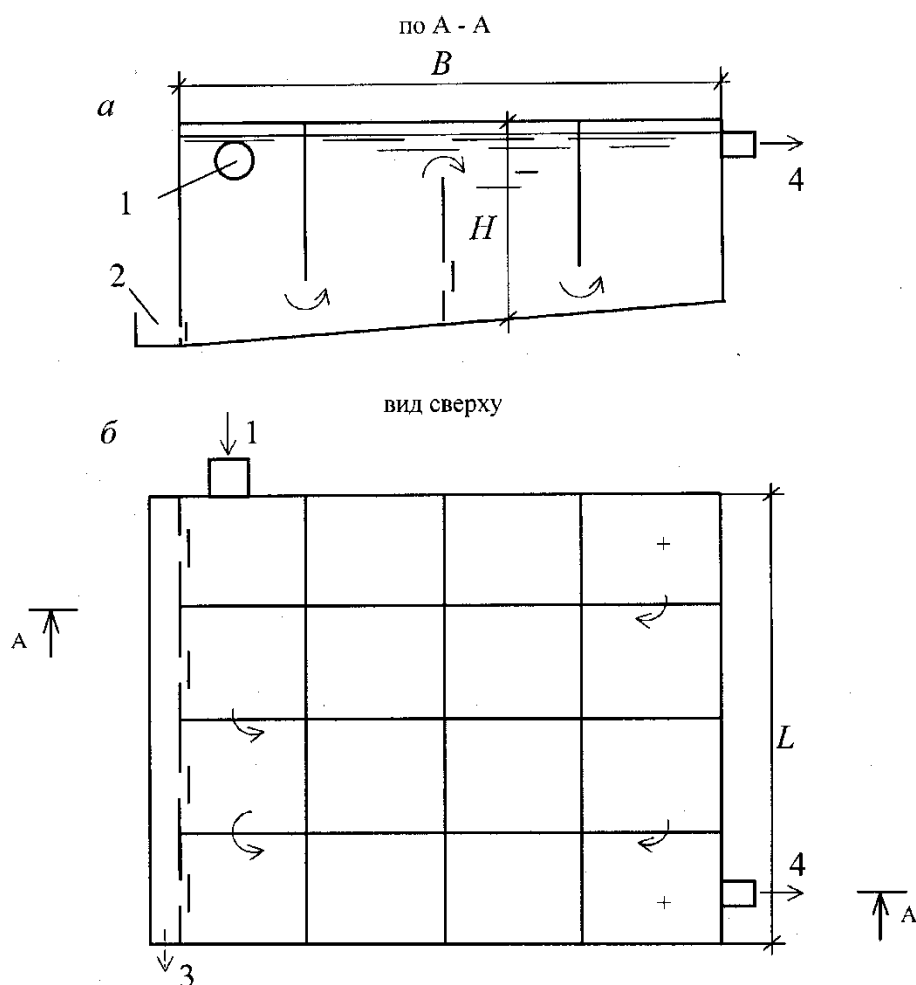


Рис. 2.14. Схема перегородчатой камеры хлопьеобразования с вертикальной циркуляцией воды:
 а – разрез; б – план; 1 – подвод воды; 2 – сток; 3 – выпуск осадка; 4 – отвод воды

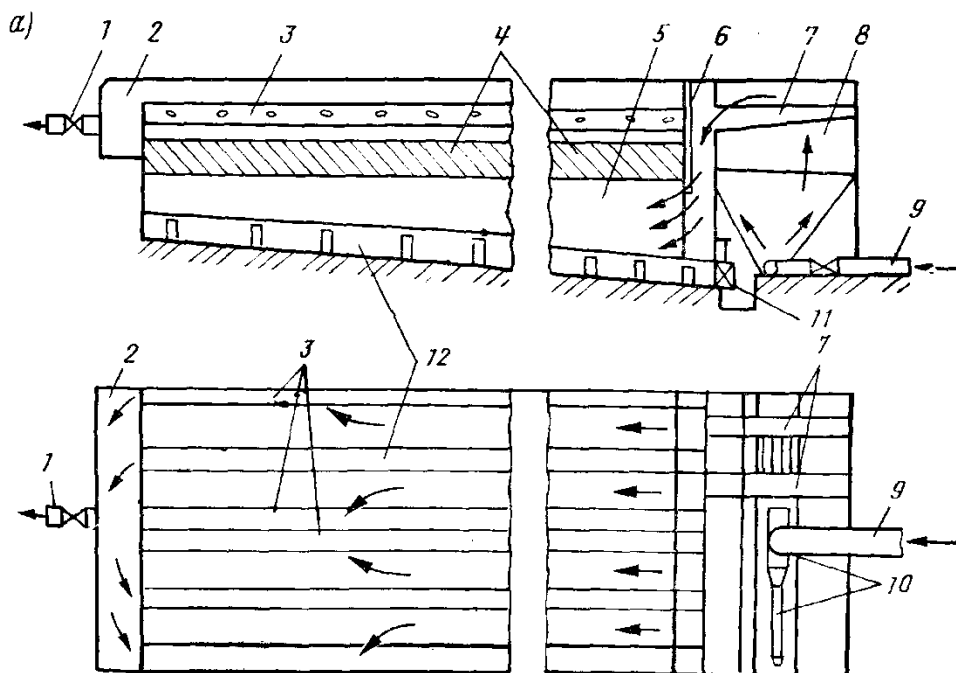
Камера хлопьеобразования зашламленного типа с вертикальными перегородками применяется для вод с мутностью до 1500 мг/л. Ее размещают в начале коридора отстойника и выполняют в виде железобетонного с пирамидальным днищем резервуара (с углом конусности 45 градусов). В

основаниях перевернутых пирамид размещают напорные перфорированные водораспределительные трубы, расстояние между которыми в осях 2 м, от стенки камеры 1 м. Отверстия трубы диаметром не менее 25 мм направлены вниз под углом 45 градусов, их суммарная площадь составляет 30-40% площади сечения распределительной трубы. Скорость движения воды в распределительных трубах 0,4-0,6 м/с.

Для соблюдения постоянства скорости движения воды, перфорированные распределительные трубы необходимо выполнять телескопическими с косыми переходами.

При восходящей скорости потока 0,65-1,6 (для вод мутностью 50-250 мг/л) и 0,8-2,2 мм/с (для вод мутностью 250-1500 мг/л) образуется и поддерживается во взвешенном состоянии слой осадка из скоагулированных примесей высотой не менее 3 м, частицы которого являются центрами коагуляции. Время пребывания воды в камере не менее 20 минут. Применение подобных камер хлопьеобразования позволяет увеличить расчетную скорость осаждения взвешенных веществ в отстойниках при осветлении вод средней мутности на 15-20% и мутных на 20%. Передача воды из камеры в отстойник должна осуществляться при скорости её движения до 0,1 м/с для мутных вод и до 0,05 м/с – для цветных.

Использование контактных камер хлопьеобразования позволяет увеличить в 3-4 раза нагрузку на единицу объема камеры, снизить на 20-25% расход коагулянта, уменьшить примерно в 1,5 раза продолжительность отстаивания воды в отстойниках.



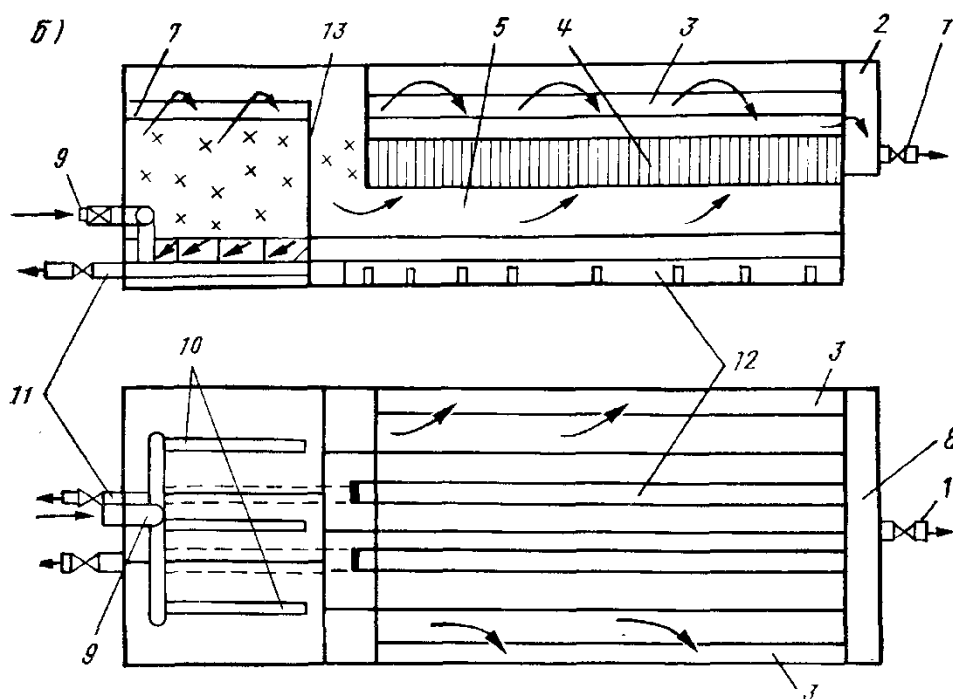
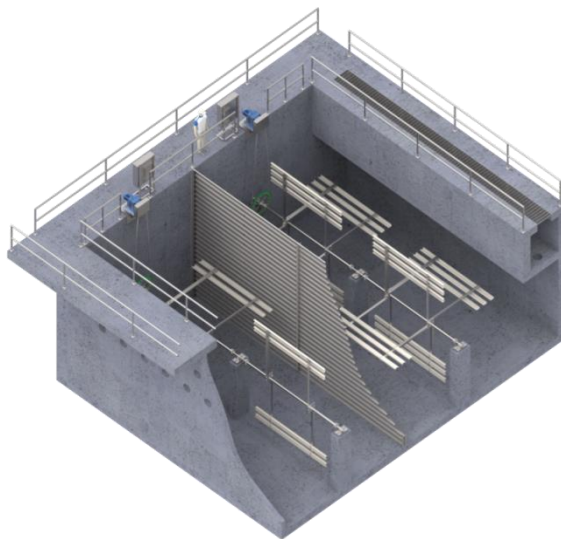


Рис. 2.16. Камеры хлопьеобразования вихревого (а) и зашламленного (б) типа, встроенные в горизонтальный отстойник:

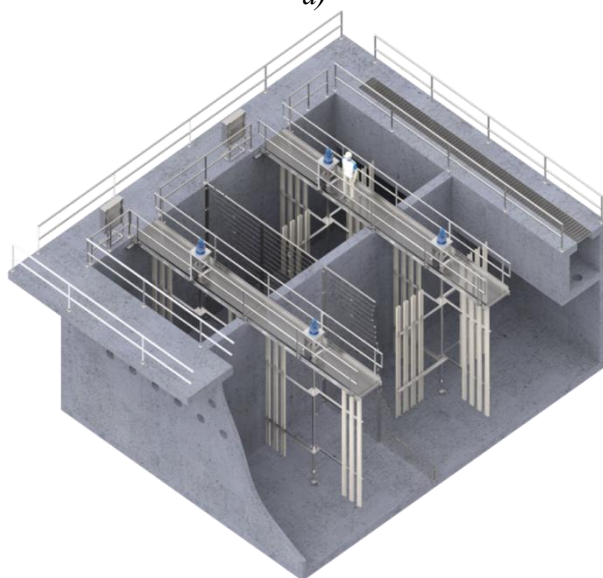
1 – отвод осветленной и подача исходной воды; 2 – водосборный карман; 3 – лотки децентрализованного сбора осветленной воды; 4 – тонкослойные модули; 5 – зона осветления воды; 6 – струенаправляющая перегородка; 7 – лотки для сбора и отведения воды из камеры; 8 – камера хлопьеобразования; 10 – перфорированные водораспределительные трубы; 11 – удаление осадка из отстойника; 12 – коробка для сбора и удаления осадка из отстойника; 13 – затопленный водослив, отделяющий камеру от отстойника

В механических камерах хлопьеобразования (флокуляторах), рекомендуемых для обработки мутных вод и применяемых на крупных водоочистных комплексах, плавное перемешивание воды для завершения процесса ортокинетической коагуляции её примесей осуществляется пропеллерными или лопастными мешалками, размещаемыми на горизонтальных или вертикальных осях (рис. 2.17). Мешалка имеет одну или несколько лопастей. Флокуляторы обычно встраивают в горизонтальные отстойники и рассчитывают на время пребывания воды в них 30-40 минут (до 60 минут при реагентном умягчении). Число мешалок принимают 3-5. Скорость течения воды во флокуляторе снижается по ходу потока от 0,5 до 0,1 м/с за счет сокращения частоты вращения мешалок или уменьшающейся по ходу воды площади их лопастей. Окружную скорость вращения мешалок принимают 0,3-0,5 м/с адекватно качеству исходной воды.

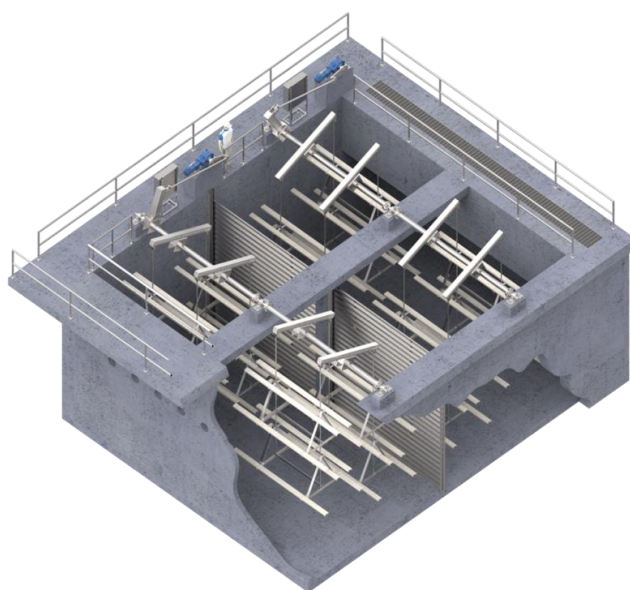
Преимуществами флокуляторов по сравнению с камерами гидравлического типа являются небольшие потери напора, простота конструкции, оптимизация процесса хлопьеобразования адекватно качеству обрабатываемой воды путем изменения частоты вращения мешалок; недостатками – дополнительный расход электроэнергии, высокие требования к материалам деталей, что удорожает сооружение в целом.



a)



б)



в)

Градиент скорости перемешивания воды в них определяется по формуле:

$$G = \left(\frac{2\pi m N}{W \eta} \right)^{0.5}, \text{ с}^{-1} \quad (2.6)$$

n – число осей с лопастями.

Таблица 2.2

Схема очистки воды	Критерий GT
Маломутные цветные воды, рН = 5,5...6,5, обрабатываемые сульфатом алюминия	$40 \cdot 10^3 \dots 55 \cdot 10^3$
То же, при рН = 4,5...5,5, обрабатываемые хлорным железом	$100 \cdot 10^3 \dots 150 \cdot 10^3$
Маломутные цветные воды, рН = 5,5...6,8, обрабатываемые ПАА	$200 \cdot 10^3 \dots 300 \cdot 10^3$
Воды средней мутности и средней цветности, рН = 6...7, обрабатываемые сульфатом алюминия	$25 \cdot 10^3 \dots 36 \cdot 10^3$
Воды средней мутности, рН = 6,6...7,2, обрабатываемые хлорным железом	$35 \cdot 10^3 \dots 50 \cdot 10^3$

Исследования флокуляторов, выполненные в МГСУ (Г.И. Николадзе, Ч.С. Лай), показали, что число цилиндрических секций камеры следует принимать не менее трех с зигзагообразной траекторией движения воды, структура градиента скорости должна быть убывающей по ходу воды от 100 до $25 \dots 50 \text{ с}^{-1}$ в последней секции, мешалки целесообразно размещать на вертикальной оси. Данные табл. 2.2 дают представление о величинах критерия Кэмпбелла при обработке вод разного состава.

2.4. Обработка воды на первом этапе

2.4.1. Микрофильтры, сетчатые фильтры

Процеживание воды через сетки из различных материалов применяется для извлечения из воды грубых примесей в виде речных наносов из песка, ила, листьев, прутьев, щепы, коры деревьев и кустарников, фито- и зоопланктона. Разделение суспензий на фильтрат и осадок происходит за счет создаваемой разности давлений ΔP , под действием которой фильтрат проходит через ячейки сетки, а грубые взвешенные и плавающие в воде частицы задерживаются на ней. Обычно, в технологии водоочистки из условий прочности свойств сеток и предотвращения проскока ранее образовавшегося осадка через сетку с

ячейками размером 20-60 мкм, рекомендуется принимать максимальное значение $\Delta P_{\max}$ к концу фильтроцикла: $\Delta P_{\max} \leq 0,1-0,2$ м

Оптимальным вариантом работы сетчатой фильтровальной установки применительно к водным суспензиям является такой, при котором при наименьших гидравлических сопротивлениях на сетке и в слое осадка и минимальных затратах на промывку фильтрующего полотна будет обеспечиваться максимальная скорость фильтрации при заданной степени очистки воды. Чтобы достичь такого режима работы, необходимо на основе анализа качества природной воды, правильно подобрать размер ячеек рабочего сетчатого полотна и назначить начальную скорость фильтрации v_c при заданном перепаде давления ΔP_o на сетке.

Сетчатые фильтры, имеющие плоскую или цилиндрическую (реже сферическую) поверхность, бывают периодического и непрерывного действия. Первые из них имеют неподвижную сетку, вторые – вращающуюся, обычно непрерывно промываемую с помощью специальных трубных систем с гидравлическими насадками.

В системах подготовки воды для хозяйственно-питьевых и технических целей наибольшее распространение получили *микрофильтры* и *барабанные сетки*. Конструкция микрофильтров идентична конструкции барабанных сеток. Микрофильтры являются разновидностью барабанных сеток, размер ячеек которых составляет 0,355х0,335 или 0,5х0,5 мм, размещаемых между двумя поддерживающими сетками с ячейками 10х10 мм, образующими фильтрующий элемент. Микрофильтры выполняют из металлических сеток с размером ячеек 20...60 мкм. Микрофильтры следует применять для удаления из воды крупных плавающих и взвешенных примесей, в том числе фито- и зоопланктона при количестве клеток более 1000 кл/мл, а при отсутствии последних – барабанные сетки.

Сетчатые фильтры следует размещать в зданиях станций водоподготовки. При соответствующем обосновании допускается их размещение на водозаборных сооружениях.

Микрофильтры выполнены из вращающегося барабана со сменными фильтрующими сетчатыми элементами с размером ячеек сеток 40×40 или 60×60 мкм, вала барабана с воронками для сбора промывной воды, привода, камеры расположения барабана, входного и выходного каналов, системы подачи и отвода промывной воды. Окружная скорость барабана – 0,1-0,3 м/с. Глубина его погружения в воду в камере – 4/5 диаметра барабана. Скорость фильтрации назначается в пределах от 5 до 25 л/с на 1 м² полезной площади микросетки, погруженной в воду. Потери напора на микросетке допускаются до 0,2 м, а в установке в целом – до 0,5 м. Расход промывной воды принимается до 1,5% от расхода обрабатываемой воды. Давление промывной воды, подаваемой на spryski – не менее 0,15 МПа. Камеры должны оборудоваться спускными трубами. В подводящем канале камер следует предусматривать переливной трубопровод. Промывка сетчатых барабанных фильтров должна осуществляться водой, прошедшей через них.

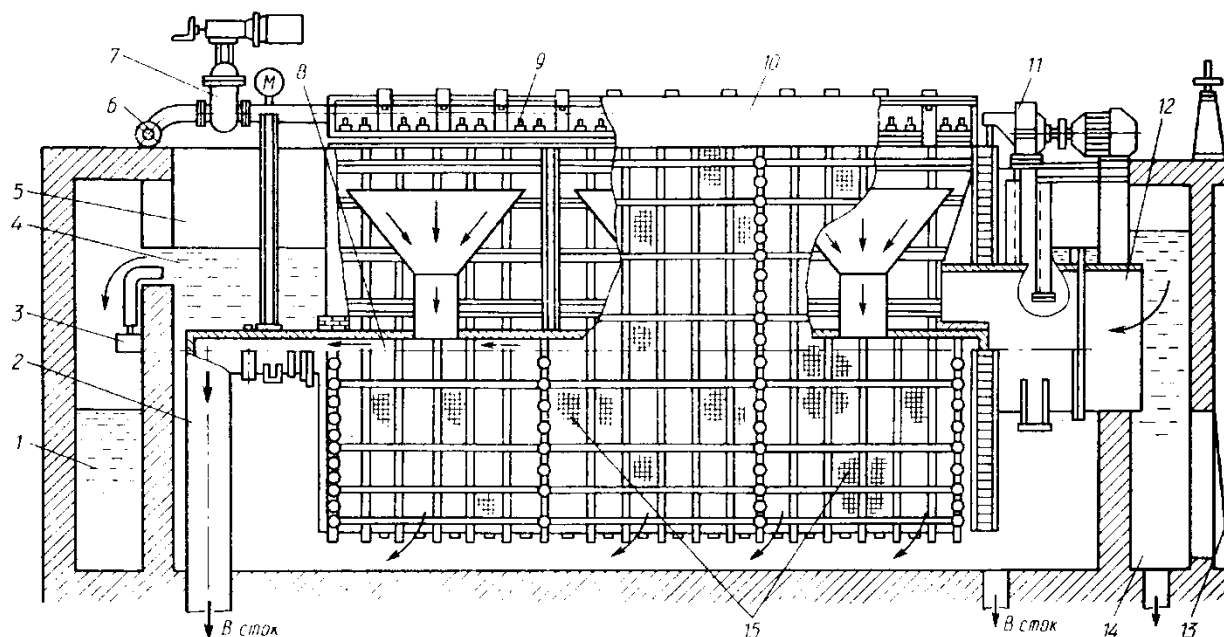


Рис. 2.18. Микрофильтр (барабанная сетка):

1 – сборный канал; 2 – трубопровод отвода промывной воды; 3 – датчик уровня; 4 – водосливное окно; 5 – камера; 6 – трубопровод подачи промывной воды; 7 – задвижка с электроприводом; 8 – центральная труба с воронками сбора промывной воды; 9 – пластинчатые разбрызгиватели; 10 – ограждение из оргстекла; 11 – редуктор с электроприводом; 12 – входное отверстие большого размера; 13 – шибер; 14 – подводящий канал исходной воды; 15 – барабан с фильтрующими элементами



Рис. 2.19. Внешний вид микрофильтра

Сетчатые напорные установки различных типов, которые в зависимости от технических характеристик сеток (размеров и формы ячеек, типа плетения), конструктивных отличий и режимов работы, применяются в зарубежной практике для очистки воды от крупных механических загрязнений, взвеси и планктона, содержащихся в воде.

Использование сетчатых фильтров ограничивается, как правило, размером ячеек сетки до 75 мкм, так как применение сеток с ячейками меньших размеров приводит к резкому сокращению межпромывочного периода из-за интенсивного прироста потерь напора на фильтрующем элементе.

Некоторые конструкции сетчатых фильтров приведены на рис. 2.20 и 2.21. В большинстве фильтров реализован механизм промывки, при котором одна секция отделяется колпаком от потока исходной воды и через этот колпак промывная вода отводится в дренаж. Подача промывной воды со стороны фильтрата осуществляется за счет давления, которое необходимо создавать в линии отвода фильтрата.

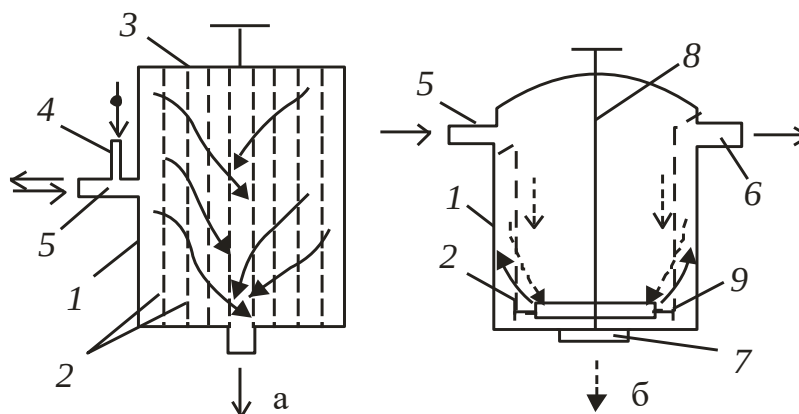


Рис. 2.20. Вертикальные сетчатые фильтры американских фирм «Drip-Eze» (а) и «Bermad» (б):

→ – направление движения фильтруемой воды; --- → – направление движения промывной воды; — – введение жидких реагентов; 1 – корпус; 2 – сетка; 3 – быстросъемная крышка; 4 – патрубок подачи жидких реагентов; 5 – патрубок подачи исходной воды; 6 – патрубок отвода фильтрата; 7 – патрубок сброса промывной воды; 8 – гидроцилиндр; 9 – диск со щетками.



Рис. 2.21. Сетчатый фильтр PR-BW 100-FC с автоматической промывкой:

1 – корпус со стороны исходной воды; 2 – корпус со стороны фильтрата; 3 – перегородка с раздвижным сегментом; 4 – картридж с фильтрующим элементом; 5 – ротор для обратной промывки; 6 – насадка для обратной промывки; 7 – подшипник; 8 – приводной мотор; 9 – клапан для удаления промывной воды; 10 – панель управления; 11 – система измерения перепада давления

2.5. Удаление взвешенных веществ осаждением

2.5.1. Теоретические основы процесса осаждения взвеси

Сущность процесса осаждения заключается в выделении из воды взвешенных в ней примесей под действием силы тяжести. При уменьшении скорости движения обрабатываемой воды и ее турбулизации снижается транспортирующая способность потока и взвешенные в ней частицы, имеющие большую плотность, чем вода, декантируют.

При отстаивании скоагулированной взвеси происходит как свободное, так и «стесненное» осаждение частиц различной крупности и плотности. Эти частицы неоднородны по массе, форме и величине.

В общем виде закон сопротивления осаждаемой одиночной частицы в свободном объеме жидкости, описывается формулой Ньютона-Релея:

$$F_3 = \varphi_3 \cdot \rho_1 \cdot \Theta^2 \cdot d_r \quad (2.7)$$

где F_3 – сила сопротивления; φ_3 – коэффициент сопротивления, зависящий в свою очередь от числа Рейнольдса (Re).

$$Re = \rho_1 \cdot \Theta \cdot d / \eta, \quad (2.8)$$

где ρ_1 – плотность жидкости, η – вязкость жидкости, Θ – скорость осаждения частицы, d – диаметр частицы, принятый условно как диаметр равновеликого шара.

Допускается, что силы сопротивления F_3 и силы тяжести частиц G_r уравновешены при равномерном движении осажденных частиц: $F_3 = G_r$,

$$G_r = \frac{\pi d_r^3}{6} \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot g, \quad (2.9)$$

где ρ_2 – плотность частицы взвеси, g – ускорение свободного падения.

Тогда коэффициент сопротивления одиночной частицы при ее свободном осаждении можно найти из формулы:

$$\varphi_3 = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \cdot g \cdot \frac{\pi d_r}{6 \Theta^2}. \quad (2.10)$$

Более точное значение коэффициента сопротивления находят экспериментальным путем. При значении чисел $Re \ll 1$ в области (I) действия линейного закона сопротивления скорость осаждения мелких частиц с различной удельной поверхностью может быть найдена по формуле Стокса:

$$\Theta = \frac{d^2}{18} \cdot \frac{\rho_2 - \rho_1}{\eta} g \quad (2.11)$$

При $Re_t > 1$, характеризуемых скоростью осаждения более крупных и более плотных взвесей, значения таких скоростей в первом приближении могут быть определены по формуле:

$$\Theta = \frac{\pi d^3}{6\varphi^3} \cdot g \cdot \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \right)^{0,5} \quad (2.12)$$

Поскольку большинство частиц, встречающихся в природных очищаемых водах (тем более, после их коагулирования), неоднородны, то характер их выпадения в объеме воды устанавливается с помощью кривых осаждения полидисперсной взвеси, которые получают в результате проведения седиментационного анализа с помощью седиментометра Фигуровского, торсионных весов или обычных литровых цилиндров, в которых на определенной высоте отбираются через выделенные промежутки времени пробы воды для определения в них количества частиц.

Для моделирования процесса осаждения в отстойниках и расчета конструктивных элементов последних, используют понятие «процентной скорости выпадения взвеси» U в мм/с: $U = h / t$, где h – высота слоя воды, в котором происходит осаждение частиц, мм; t – время выпадения этих частиц.

Основой метода моделирования процесса осаждения монодисперсной взвеси, является подобие кривых выпадения взвеси при разных значениях высот осаждения.

$$\frac{t_n}{t_m} = \frac{h_n}{h_m} \quad (2.13)$$

где t_n, h_n – параметры природы; t_m, h_m – параметры модели отстойника.

Однако, на практике, в случае предварительного коагулирования воды, приводящей к агрегативной и кинетической неустойчивости взвеси, условие подобия должно выражаться в виде:

$$\frac{t_n}{t_m} = \left(\frac{h_n}{h_m} \right)^n \quad (2.14)$$

где показатель степени $n < 1$ зависит от степени агломерации осаждаемых частиц. Его значения принимаются обычно в пределах от 0,2 (для мелких частиц) до 0,5 (для крупных, сформированных хлопьев).

Способность природных вод по своему физико-химическому составу и характеристикам примесей в них, к осветлению за счет осаждения А.А.Кастальский предложил оценивать для горизонтальных отстойников по крайним значениям процентной скорости осаждения: $U_1 = 0,2$ мм/с; $U_2 = 1,2$ мм/с. При глубине отстойников ~ 4 метра, первый показатель отвечает времени пребывания воды в них равному 1 часу, второй – 6 часам. Соотношение этих величин U_1/U_2 принято называть показателем осаждаемости взвеси.

2.5.2. Типы, конструкции и расчет отстойников

Отстаивание воды производят в специальных сооружениях – отстойниках.

Отстойники классифицируют по: направлению движения воды (горизонтальные, вертикальные, радиальные, спиральные и тангенциальные); глубине отстаивания воды (с большой, обычно $H \geq 2,0$ м, и малой глубиной зоны осаждения ($H \leq 7-10$ см)).

Современные конструкции отстойников являются проточными, т.е. осаждение взвеси в них происходит при непрерывном движении воды от входа к выходу. Поэтому скорости движения жидкости в отстойниках малы: это десятые доли мм/с в вертикальных отстойниках и несколько мм/с в горизонтальных отстойниках.

Скорость выпадения частиц u при $t = 10$ °С называется гидравлической крупностью частицы.

Горизонтальный отстойник – прямоугольный, вытянутый в направлении движения воды резервуар, в котором осветляемая вода вдоль отстойника движется в направлении, близком к горизонтальному. Горизонтальные отстойники применяют на очистных станциях производительностью более 30000 м³/сут. Для повышения эффективности осветления горизонтальные отстойники оборудуются тонкослойными модулями.

Для равномерности распределения воды в поперечном сечении отстойника его объем делят в продольном направлении перегородками на самостоятельно действующие секции шириной 3-6 м. При числе отстойников менее шести следует предусматривать один резервный. Дно отстойника должно иметь продольный уклон не менее 0,005 в направлении, обратном движению воды, а в поперечном направлении оно может быть плоским или призматическим с углом наклона граней 45°. Для удаления осадка без отключения отстойника из работы предусматривают гидравлические системы в виде перфорированных коробов или труб, которые обеспечивают его удаление в течение 20-30 мин. При открытой задвижке на сбросе осадок под действием гидростатического давления поступает в систему и в виде пульпы удаляется из отстойника.

Децентрализованный сбор осветленной воды, способствующий увеличению коэффициента объемного использования отстойника, осуществляют системой горизонтально расположенных желобов с затопленными отверстиями или треугольными водосливами, либо перфорированными трубами, расположенными на участке $2/3$ длины

отстойника, считая от задней торцевой стенки. Расстояние в осях между водосборными трубами или желобами назначают до 3 м. При установке в отстойнике тонкослойных модулей подобную систему сбора воды устраивают на всю его длину.

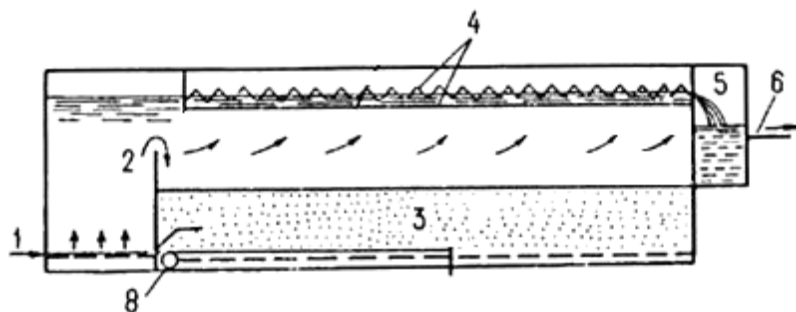


Рис. 2.22. Горизонтальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками:
1 – подача исходной воды; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – зона накопления осадка; 4 – сборные желоба; 5 – карман сбора осветленной воды; 6 – отвод осветленной воды; 7 – зона распределения воды; 8 – удаление осадка

Эффективность работы отстойников зависит от поступающих в него хлопьев, сформировавшихся в конце камеры хлопьеобразования. Если эти хлопья будут разрушены по пути к отстойнику, то вторичная их агломерация в отстойнике будет идти медленно и отстойник будет плохо осветлять воду.

Во избежание разрушения хлопьев по пути к отстойнику камеру хлопьеобразования встраивают в начале. Размеры встроенных камер хлопьеобразования выбирают таким образом, чтобы время пребывания воды в них было в пределах 10-20 мин (меньшее время относится к мутным водам).

Система удаления осадка из зоны его накопления представляет собой дырчатые трубы, укладываемые по дну в лотках днища отстойника с уклоном в сторону, противоположную выходу осветленной воды. Расстояния между дырчатыми сборными трубами принимают не более 3 метров при призматических днищах отстойника и не более 1,5-2 метра – при плоских. В трубах для удаления осадка принимают отверстия диаметром не менее 25 мм, располагаемые шагом 0,3...0,5 м в шахматном порядке вниз под углом 45° к оси трубы. Отношение суммарной площади отверстий к площади сечения трубы должно быть равным 0,5...0,7.

В качестве механизированных средств удаления осадка без отключения отстойника применяют скребковые транспортеры, которые сгребают осадок в приямок, откачиваемым впоследствии эжектором или насосом. Из открытых горизонтальных отстойников больших площадей осадок можно удалять специальными плавучими землесосными снарядами. При движении такого снаряда по коридору отстойника напорный шланг снаряда попеременно присоединяется к патрубкам трубчатой системы, по которой осадок под напором, развиваемым насосом землесосного снаряда, перекачивается за пределы очистной станции.

Инженерный расчет отстойников производят на два случая: при минимальной мутности и при минимальном зимнем расходе обрабатываемой воды, а также при наибольшей мутности при наибольшем расходе воды, соответствующем этому периоду.

Суммарная площадь $F_{г.о}$ горизонтальных отстойников определяется по формуле:

$$F_{г.о} = \alpha_{об} \frac{q}{3,6 \cdot U_o}, \text{ м}^2 \quad (2.15)$$

где q – расчетный расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; U_o – скорость выпадения взвеси, задерживаемой отстойником (гидравлическая крупность), $\text{мм}/\text{с}$, $\alpha_{об}$ – коэффициент объемного использования отстойников, принимаемый равным 1,3. Длина отстойника L определяется по формуле:

$$L = H_{cp} \cdot v_{cp} / U_o, \text{ м}, \quad (2.16)$$

где H_{cp} – средняя высота осаждения, принимаемая равной $3 \div 3,5$ м в зависимости от высотной схемы станции; v_{cp} – расчетная скорость горизонтального движения воды в начале отстойника, принимаемая равной $6 \div 8$, $7 \div 10$ и $9 \div 12$ $\text{мм}/\text{с}$ соответственно для вод маломутных, средней мутности и мутных.

Удаление осадка из отстойника рекомендуется производить гидравлическим способом по возможности без выключения отстойника из работы. Средняя концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник, ориентировочно определяется по формуле:

$$C_{cp} = M + k \cdot D_k + 0,25 \cdot Ц + B_{II}, \text{ мг}/\text{л}, \quad (2.17)$$

где M – мутность воды, $\text{мг}/\text{л}$; $Ц$ – цветность воды, град; k – коэффициент, для неочищенного сернокислого алюминия $k = 0,55$; D_k – доза коагулянта по $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{мг}/\text{л}$; B_{II} – количество нерастворимых взвешенных веществ, вносимых с известью при подщелачивании, $\text{мг}/\text{л}$.

Объем зоны накопления и уплотнения осадка определяется по формуле:

$$W_{з.н} = \frac{24 \cdot q \cdot (C_{cp} - m) \cdot T}{N \cdot \delta}, \text{ м}^3, \quad (2.18)$$

где q – расчетный расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; m – количество взвеси в воде на выходе из отстойника, принимаемое $8 \dots 12$ $\text{мг}/\text{л}$; T – продолжительность работы отстойника между чистками, сут; N – число коридоров отстойника; δ – средняя концентрация уплотненного осадка, $\text{г}/\text{м}^3$.

Вертикальный отстойник – круглый в плане и в очень редких случаях квадратный резервуар значительной глубины, в котором обрабатываемая вода движется снизу вверх. Вертикальный отстойник имеет встроенную камеру хлопьеобразования водоворотного или вихревого типа в центральной трубе и конусное днище для накопления и уплотнения осадка. Угол между наклонными стенками, образующими днище, следует принимать 70-80°. Сбор осветленной воды предусматривается периферийным и радиальными желобами с затопленными отверстиями или с треугольными водосливами.

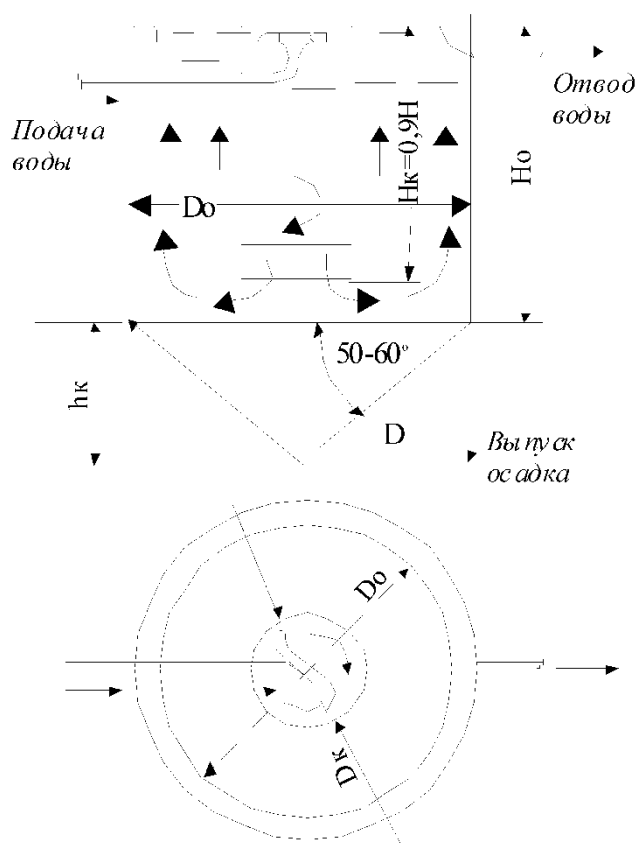


Рис. 2.23. Схема вертикального отстойника

Осветление воды происходит при восходящем ее движении со скоростью 0,4-0,6 мм/с. Осадок из вертикальных отстойников выпускают под гидростатическим напором воды без выключения сооружения из работы. Вертикальные отстойники применяют при условии предварительного коагулирования воды, в основном, при расходах 3000-5000 м³/сут.

Площадь зоны осаждения вертикального отстойника определяется по формуле:

$$F = \frac{\beta_{об} \cdot q}{3,6 \cdot v_p \cdot N_p}, \text{ м}^2, \quad (2.19)$$

где q – расчетный расход воды, м³/ч; v_p – расчетная скорость восходящего потока; $v_p=0,08-0,6$ мм/с; принимается при отсутствии данных технологических изысканий не более указанных величин скоростей выпадения взвеси U_o ; N_p – количество рабочих отстойников; $\beta_{об}$ – коэффициент, учитывающий объемное использование отстойника, величина которого принимается $1,3\div 1,5$ (нижний предел – при отношении диаметра к высоте отстойника равном 1, верхний – при отношении равном 1,5).

При количестве отстойников менее 6 следует предусматривать 1 резервный.

Площадь камеры хлопьеобразования находится по формуле:

$$f_k = \frac{q \cdot t}{60 \cdot H_k \cdot N}, \text{ м}^2, \quad (2.20)$$

где t – время пребывания воды в камере (15-20 мин); H_k – высота камеры реакции, м; $H_k = 0,9 \cdot H_o$, где H_o – высота зоны осаждения вертикального отстойника ($H_o = 4-5$ м); N – число камер хлопьеобразования; $N = N_p$.

Разновидностью горизонтальных отстойников являются радиальные. Это круглые в плане железобетонные резервуары, высота которых невелика по сравнению с их диаметром. Осветляемая вода подводится снизу в центр и изливается через воронку, обращенную широким концом кверху. Вокруг воронки располагается цилиндр-успокоитель радиусом 1,5-2,5 м с глухим дном и с дырчатой стенкой. Наличие такого цилиндра способствует равномерному распределению воды по рабочей высоте отстойника. Вода медленно движется от центра к периферии и сливается в периферийный желоб с затопленными отверстиями или треугольными водосливами. Скорость движения воды в желобе принимают 0,5-0,6 м/с. Для удаления осадка используют медленно вращающуюся металлическую ферму с укрепленными на ней скребками, сгребаящими осадок к центру отстойника, откуда он выпускается или откачивается.

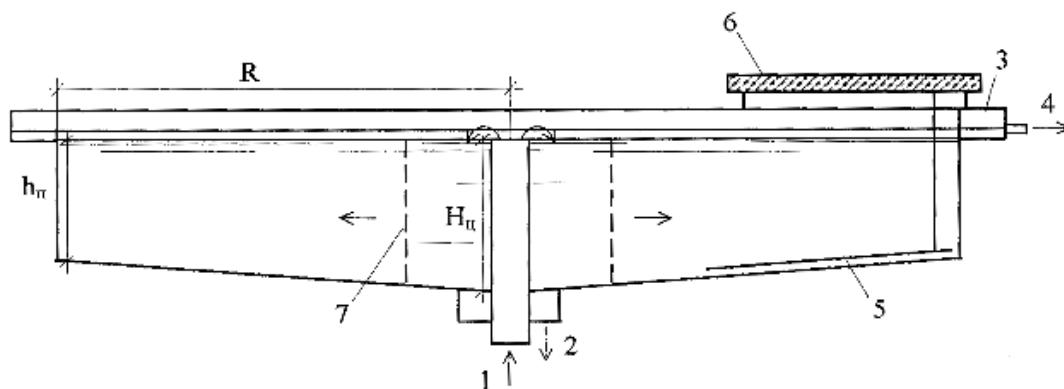


Рис. 2.24. Радиальный отстойник:

1 – центральная подающая труба; 2 – прямик для сбора и удаления осадка; 3 – сборный желоб для сбора осветленной воды; 4 – отвод осветленной воды; 5 – скребок; 6 – ферма; 7 – решетки центрального распределительного устройства

Среди методов интенсификации процесса осаждения примесей воды одним из наиболее перспективных является **отстаивание в тонком слое воды**, образуемом наклонными элементами, обеспечивающими быстрое выпадение взвеси и ее сползание по наклонной поверхности элементов в зону хлопьеобразования и осадкоуплотнения. Режим течения в отстойнике должен быть ламинарным. Производительность тонкослойных отстойников не ограничивается.

Типовые схемы размещения тонкослойных элементов с различным направлением движения осветляемой воды в них, сползания тяжелых и всплытие легких частиц осаждаемых примесей: противоточная, прямоточная и перекрестная представлены ниже.

В противоточной схеме вода и осадок движутся в противоположных направлениях (поток воды направляется вверх с определенной скоростью, а осадок сползает вниз). На входе в систему тонкослойных ячеек траектория движения частицы определяется результатом сложения скорости восходящего потока и скорости оседания частицы.

В противоточной схеме с перекрестными потоками вода и осадок движутся перпендикулярно по отношению друг к другу (вода – в горизонтальном направлении, а осадок – в направлении сверху вниз).

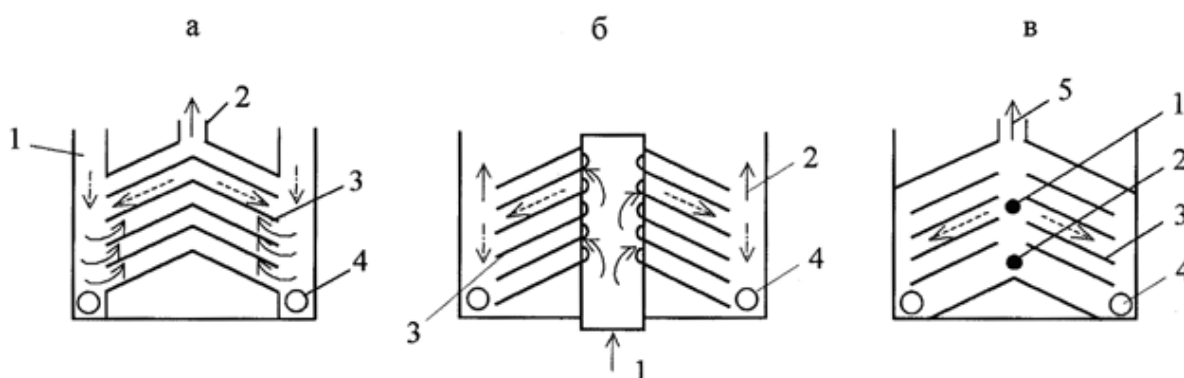


Рис. 2.25. Схемы тонкослойных отстойников:

а – противоточная, б – прямоточная, в – перекрестная;

1 – подача исходной воды; 2 – отвод осветленной воды; 3 – тонкослойные модули, 4 – трубопровод удаления осадка, 5 – отвод нефтепродуктов и взвеси с $\rho < 1 \text{ т/м}^3$

В прямоточной схеме вода и осадок движутся в одном направлении сверху вниз.

Противоточное отстаивание позволяет осуществить наиболее простую и вместе с тем наиболее надежную гидравлическую организацию процесса. В режиме прямоточного отстаивания возникают многочисленные трудности при отборе осветленной воды. Что же касается отстаивания с перекрестными потоками, то в этом случае равномерное распределение гидравлического потока является весьма сложной и трудноразрешимой проблемой.

Выбор типа модуля ячеек тонкослойного отстойника и, следовательно, эффективность тонкослойной системы определяется целым рядом параметров.

Конфигурация пластинчатых элементов должна благоприятствовать переходу от режима турбулентного истечения (на входе в ячейки) к ламинарному (непосредственно в ячейках). Вследствие этого следует избегать применения таких систем крепления ячеек, которые требуют установки поперечных распорок, нарушающих нормальный процесс движения жидкости и отстаивания осадка.

В каждую ячейку должен поступать одинаковый объем воды. Это необходимо для предотвращения чрезмерного повышения скоростей потоков, которое может нарушить нормальный ход процесса отстаивания.

Расстояние между пластинчатыми элементами должно быть достаточным как для предотвращения забивания ячеек отстоявшимся осадком, так и для обеспечения возможности их чистки в случае необходимости.

Чем больше эквивалентная площадь отстаивания, тем более эффективным будет отстаивание (но не следует, однако, упускать из виду предшествующее замечание о расстоянии между пластинами).

На рис. 2.26 сравнивается эффективность нескольких типов тонкослойных модулей. В качестве параметра сравнения используется эквивалентная площадь отстаивания, при этом были сделаны следующие предположения относительно размеров модуля: гидравлический диаметр – 80 мм; наклон – 60°; длина пластинчатых элементов – 1,5 м.

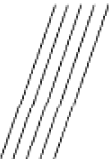
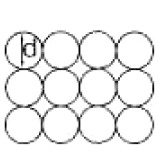
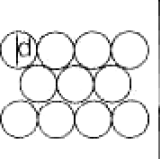
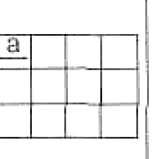
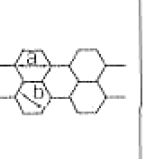
Тип тонкослойного модуля отстойника	Без тонкослойного модуля	Плоские пластины	Плоские пластины	Трубки круглого сечения, уложенные в ряд	Трубки круглого сечения, уложенные в шахматном порядке	Трубки квадратного сечения	Трубки шестигранного сечения
Эквивалентный гидравлический диаметр, мм	–	80 мм (40 мм между пластинами)	160 мм (80 мм между пластинами)	80 мм	80 мм	80 мм	80 мм
Конфигурация	–						
Эквивалентная площадь отстаивания	1	16,2	8,1	6,4	7,4	8,1	10,8

Рис. 2.26. Характеристики модулей тонкослойного отстаивания

Выбор типа тонкослойных модулей не должен производиться исходя лишь из максимально возможной эквивалентной площади отстаивания: модули с параллельными пластинами могут иметь значительную эквивалентную площадь отстаивания при условии сокращения расстояния между пластинами, что, однако, может привести к ненадежной работе отстойника (забивание

ячеек) и даже вывести его из строя (невозможность прочистки пространства между пластинами).

Кроме того, установка пластинчатых элементов сама по себе является достаточно ответственной процедурой: она требует применения опор и поперечных распорок, т.е. приспособлений, которые часто нарушают гидравлические условия процесса отстаивания и являются причиной скопления осадка в ячейках.

Гидравлическая эффективность гексагональных модулей превышает эффективность как других трубчатых модулей, так и модулей с параллельными пластинами. В гексагональных модулях существенно снижается опасность забивания и вместе с тем обеспечивается исключительно большая эквивалентная площадь отстаивания.

При расчете тонкослойных отстойников исходят из соблюдения ламинарного режима течения и устойчивости потока в тонкослойном элементе при $Re = 60-80$ и гидравлической нагрузки, характеризуемой удельным расходом, измеряемым в $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$, или скоростью потока в тонкослойных модулях, измеряемой в $\text{м}/\text{ч}$, которая устанавливается в результате технологических экспериментов. На практике значения последней при безреагентном отстаивании принимаются в пределах от 0,6-1,0 $\text{м}/\text{ч}$ (для маломутных цветных вод) до 1,5-2,5 $\text{м}/\text{ч}$ (для мутных вод). В качестве элементов могут быть использованы прямоугольные панели или трубки малого диаметра (7-10 см). Длину тонкослойных элементов изменяют обычно в пределах 0,6-1,5 метра, высоту поперечного сечения при прямоугольных панелях назначают в пределах 5-7 см. Для предотвращения накопления осадка в тонкослойных элементах и периодического или непрерывного сползания его в зону накопления угол наклона тонкослойных элементов принимают в пределах 45-60°. Из конструктивных соображений по монтажу и изготовлению блоков, состоящих из множества элементов, их размеры в плане принимают не более 1,5х1,5 м.



Рис. 2.27. Внешний вид тонкослойных модулей

Для формирования набора элементарных ячеек тонкослойного отстаивания имеются разнообразные по форме пластинчатые элементы: плоские или волнистые пластины, трубы круглого или квадратного сечения, шестигранные модули и др. (рис. 2.27).

Инженерный расчет тонкослойных отстойников заключается в определении размеров элементов отстойника при заданных гидравлических нагрузках, качестве исходной воды и требуемой степени очистки.

Передовые инженерные идеи объединились в отстойнике Densadeg, разработанном компанией Degremont: механическое перемешивание, рециркуляция осадка в камере хлопьеобразования, рециркуляция осадка из отстойника, тонкослойные модули, механическое удаление осадка. Отстойник имеет компактные размеры и позволяет обрабатывать воды в широком диапазоне мутности.

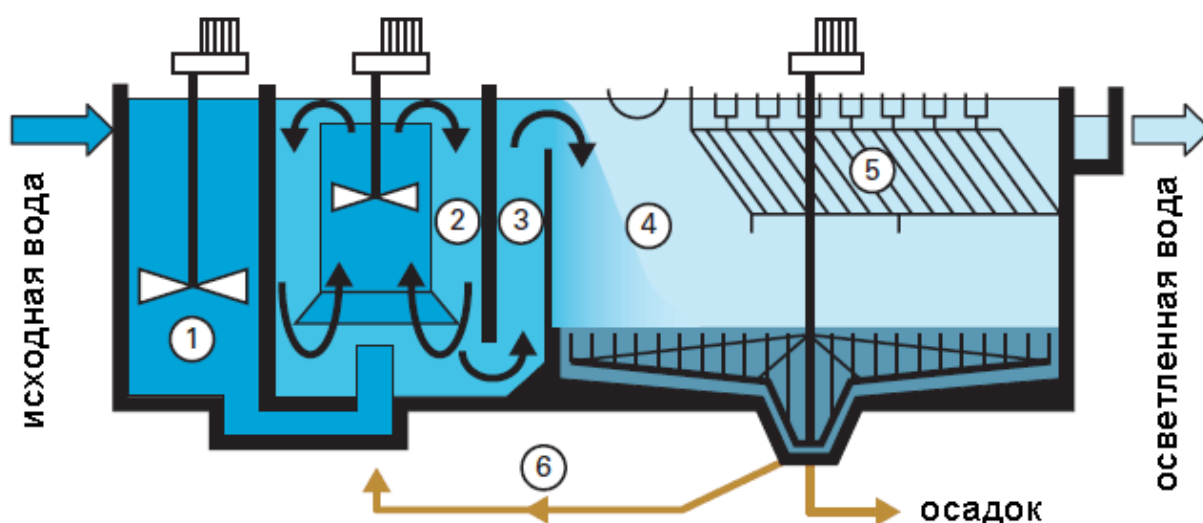


Рис. 2.28. Отстойник Densadeg:

1 – механический смеситель; 2 – механический флокулятор; 3 – промежуточный коридор; 4 – отстойник; 5 – тонкослойные модули; 6 – рециркуляция осадка

2.5.3. Обработка воды в слое взвешенного осадка

Метод обработки воды в слое ранее образованного взвешенного осадка широко используют в технологии ее осветления, обесцвечивания, умягчения, дефторирования, обезжелезивания и обескремнивания. Осветлители со слоем взвешенного осадка применяют на первой ступени водоподготовки вместо отстойников и камер хлопьеобразования. Они могут успешно работать только при условии предварительной обработки примесей воды коагулянтom или флокулянтom. Эти сооружения обеспечивают более высокий эффект осветления воды (до 5-8 мг/л) и имеют более высокую производительность, чем отстойники. Однако конструктивно и в эксплуатации они более сложны.

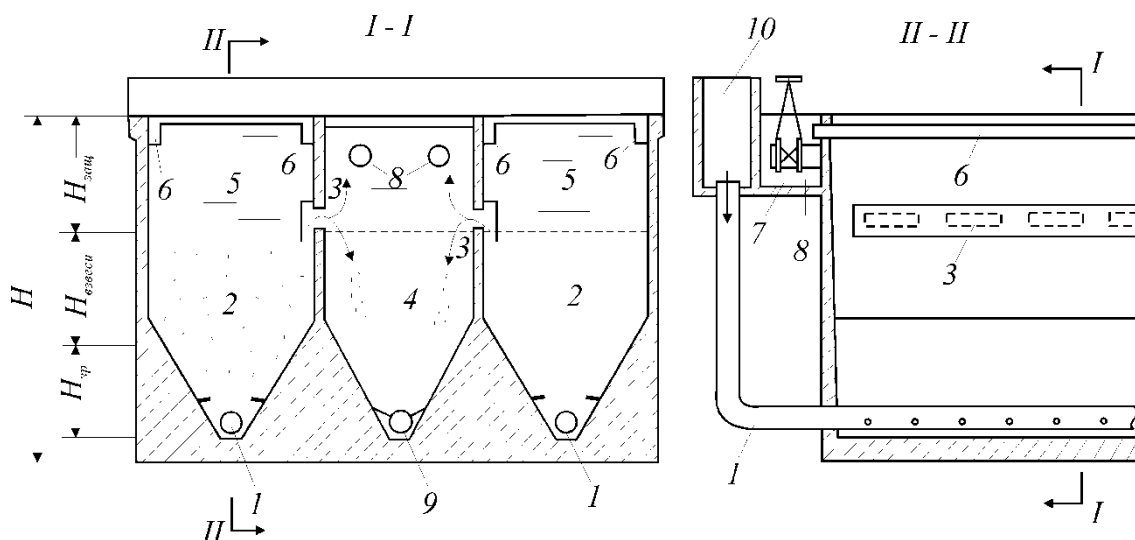


Рис. 2.29. Осветлитель коридорного типа:

1 – труба подачи исходной воды; 2 – коридоры-осветлители; 3 – окна для отвода осадка; 4 – осадкоуплотнитель; 5 – зона освещения; 6 – сборные желоба для отвода осветленной воды; 7 – канал осветленной воды; 8 – дырчатые трубы для сбора осветленной воды; 9 – дырчатые трубы отвода осадка; 10 – канал подачи исходной воды

Схема работы осветлителей со слоем взвешенного осадка показана на примере коридорного осветлителя на рис. 2.29. Обрабатываемая вода, смешанная с реагентами, вводится в осветлитель снизу и равномерно распределяется по площади рабочих коридоров. Далее вода движется снизу вверх и проходит через слой ранее образованного взвешенного осадка, состоящего из массы взвешенных в восходящем потоке хлопьев, которые непрерывно хаотично движутся, но весь слой в целом неподвижен. Он находится в состоянии динамического равновесия, обусловленного равенством скорости восходящего потока воды и средней скорости осаждения хлопьев. Необходимо отметить, что средняя скорость осаждения хлопьев во взвешенном слое отлична от их гидравлической крупности. Это объясняется так называемым стесненным осаждением частиц, на котором основана работа осветлителей. Проходя через слой взвешенного осадка, обрабатываемая вода осветляется и обесцвечивается в результате контактной коагуляции.

При движении воды через взвешенный слой извлекаемые из нее примеси остаются в нем, при этом объем слоя должен непрерывно увеличиваться, но этого не происходит, так как избыточный осадок из взвешенного слоя непрерывно удаляется в осадкоуплотнитель, откуда сбрасывается на сооружения по обработке осадка. Обработанная вода, прошедшая через слой взвешенного осадка, собирается с помощью сборных желобов или труб и отводится за пределы аппарата, стабильная работа которого достигается при постоянстве расхода и температуры обрабатываемой воды, недопустимости попадания воздуха с водой. Спонтанные колебания расхода воды вызывают размыв взвешенного слоя и вынос хлопьев в зону освещения. Колебания температуры воды влекут за собой возникновение конвективных токов, приводящих к нарушению взвешенного слоя и замутнению осветленной воды.

Для обеспечения нормальной работы осветлителя допускают в течение часа колебания расхода 15% и температуры обрабатываемой воды 1 °С.

При осаждении взвешенной массы хлопьев наблюдается стесненное осаждение. Его характерная особенность в том, что скорость осаждения, которая всегда меньше скорости свободного падения, т.е. гидравлической крупности частиц, зависит не только от их размеров и массы, но и от концентрации. Так, при объемной концентрации, равной 10%, скорость осаждения частиц в 2 раза меньше по сравнению с их гидравлической крупностью. Взвешенный в восходящем потоке слой хлопьев находится в состоянии стесненного осаждения, поэтому частицы не выносятся с потоком в зону осветления и не декантируют.

Благодаря тому, что скорость стесненного осаждения зависит от концентрации взвешенного слоя, он сохраняется в широком диапазоне изменения скоростей восходящего потока. Каждому значению восходящей скорости потока отвечает определенная в данных условиях концентрация частиц слоя. Скорость свободного осаждения частиц является верхним пределом существования взвешенного слоя. Когда скорость потока приближается к этой величине, слой размывается. Нижний предел существования слоя – минимальная скорость потока, при которой силы гидродинамического воздействия потока на частицы меньше их силы тяжести. В этом случае частицы плотной массы декантируют. Скорость восходящего потока в осветителях лежит между этими пределами.

В основу физико-химической сущности задержания взвеси разной дисперсности и устойчивости во взвешенном слое осадка лежат процессы, характерные для контактной коагуляции. Степень извлечения загрязнений зависит от площади поверхности твердой фазы в единице объема контактной среды и соотношения скорости диффузии частиц загрязнений, сил адгезии и отрыва, времени контакта пребывания частиц в этой среде.

Осветлители классифицируют по:

- способу удаления избытка осадка (с гравитационным и принудительным отводом осадка);
- месту расположения осадкоуплотнителей (с поддонным; с выносным, вертикальным; с размещением осадкоуплотнителя в конусной части блока осветления воды);
- рабочему давлению (открытые и напорные).

Некоторые из конструкций осветлителей рассмотрены ниже. Принцип работы классического осветлителя с коническим диффузором на примере осветлителя конструкции Е.Н.Тетеркина (рис. 2.30) заключается в следующем.

Вода, смешенная с растворами реагентов, поступает в осветлитель из воздухоотделителя по трубопроводу в нижнюю часть конуса диффузора. При движении воды снизу вверх скорость потока уменьшается до величины, при которой в диффузоре образуется слой взвешенного осадка. По мере накопления осадка его избыток переливается через кромку диффузора и опускается в осадкоуплотнитель. Осветленная вода проходит через защитный слой воды над

диффузором и по сборному желобу отводится на фильтры. Осадок через дырчатую трубу непрерывно или периодически по сбросному трубопроводу отводится в канализацию.

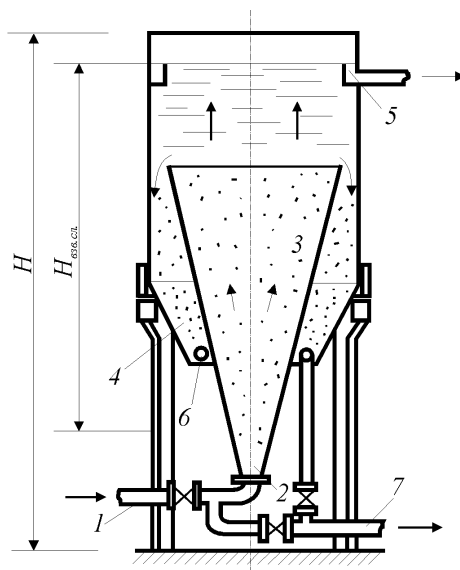


Рис. 2.30. Осветлитель со взвешенным осадком конструкции Е.Н. Тетеркина:
1 – трубопровод; 2 – диффузор; 3 – слой взвешенного осадка; 4 – осадкоуплотнитель; 5 – сборный желоб; 6 – дырчатая труба; 7 – трубопровод отвода осадка

Осветлитель коридорного типа с вертикальным осадкоуплотнителем прямоугольный в плане состоит из трех параллельных коридоров. Вода, прошедшая воздухоотделитель, по дырчатым распределительным трубам распределяется по длине коридоров-осветлителей. Избыток осадка с частью воды через осадкоотводные окна поступает в осадкоуплотнитель. За счет отвода части воды в осадкоуплотнитель снижается скорость восходящего потока воды выше слоя взвешенного осадка в зоне осветления, что обеспечивает необходимый эффект осветления воды. Осветленная вода через сборные желоба поступает в канал. Из осадкоуплотнителя осветленная вода отводится в тот же канал через дырчатые трубы, установленные на 300 мм ниже поверхности воды в нем. Уплотненный осадок из осадкоуплотнителя сбрасывается в сток через дырчатые трубы, уложенные в нижней части дна осадкоуплотнителя.

В зарубежной практике водоподготовки находят применение «пульсаторы» – осветлители, в которых слой осадка во взвешенном состоянии и предотвращение его завалов в нижней части зон осветления, осуществляют путем пульсирующей подачи осветляемой воды под слой взвешенного осадка с помощью специальной вакуумной камеры и системы гашения восходящего потока. Пульсирующие циклы поступления воды в зону осветления повторяются периодически и зависят от принятой расчетной схемы управления. Удельные гидравлические нагрузки по обрабатываемой воде на таких «пульсаторах» примерно такие же, как для осветлителей без пульсации восходящих потоков.

Сущность технологического расчета осветлителей со взвешенным осадком заключается в нахождении оптимального соотношения скорости восходящего потока и гидравлической крупности взвеси (V/U) в различные периоды года и его связи с весовой концентрацией осадка ($C_{об}$). Это соотношение, как уже отмечалось ранее, определяет эффективность осветления воды, выраженную через величину C_{ex}/C_o и высоту слоя взвешенного осадка. Расчет осветлителей выполняют на два случая: минимальной мутности при минимальном зимнем расходе воды и максимальной мутности при наибольшем максимальном расходе воды.

Высоту зоны осветления воды над слоем осадка назначают из гидродинамических условий его функционирования $h_{з.о.} = f(v, x)$. Обобщенные значения рекомендуемых скоростей восходящего потока воды в осветлителях различных конструкций, в зависимости от физико-химических свойств обработанной предварительно растворами коагулянта $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ и флокулянта (ПАА) воды и взвеси.

Общую площадь осветлителя определяют по формуле:

$$F = F_{осв} + F_{отд}, \quad (2.21)$$

где $F_{осв}$ – площадь зоны осветления, m^2 ; $F_{отд}$ – площадь зоны отделения осадка, m^2 . Площадь одного осветлителя коридорного типа в плане не должна превышать 100-150 m^2 . В зависимости от этого принимается расчетное количество осветлителей.

$$F_{осв} = \frac{qK_{p.в}}{3,6v_{осв}}, m^2; F_{отд} = \frac{q(1-K_{p.в})}{3,6v_{осв}}, \quad (2.22)$$

где $K_{p.в}$ – коэффициент распределения воды между зонами осветления и отделения осадка. Ширину коридоров B_k принимают в соответствии с шагом балок длины: 3 и 6 м.

Объем зоны накопления осадка определяется по формуле:

$$W_{з.у} = \frac{q \cdot T \cdot (C_o - M_{осв})}{N \cdot \delta_{cp}}, \quad (2.23)$$

где q – часовой расход воды, $m^3/ч$; T – время уплотнения осадка, час (принимается в пределах 2-6 ч); C_o – содержание взвешенных веществ, поступающих с водой в осветлитель, mg/l ; $M_{осв}$ – содержание взвешенных веществ в воде, выходящей после осветлителя, принимается равной 8-15 mg/l ; δ_{cp} – средняя концентрация осадка в осадкоуплотнителе, mg/l .

Удаление осадка следует производить без остановки осветлителя с помощью дырчатых труб, расположенных по продольной оси дна осадкоуплотнителя. Расчетом также определяют расход, пропускаемый через

каждую осадкосбросную трубу и ее диаметр, и количество отверстий при их диаметре не менее 20 мм, расстоянии между ними – 300-500 мм.

Относительный расход сбрасываемой с осадком воды (в % от общего расхода) определяется по формуле:

$$P = \frac{K_p \cdot W_{з.у}}{24 \cdot q \cdot T} \cdot 100, \%, \quad (2.24)$$

где K_p – коэффициент разбавления осадка, принимаемый равным 1,2-2,5.

Подача воды в осветлитель осуществляется с помощью телескопического дырчатого коллектора, диаметр которого определяется исходя из расхода в одном коридоре осветлителя и скорости движения воды на входе в коллектор (равный 0,5-0,6 м/с). Отверстия в коллекторе принимаются не менее 15-25 мм и располагаются в нижней части трубы под углом 45°. Скорость выхода воды из отверстий 1,5-2 м/с. Сбор осветленной воды в коридорах осветлителя осуществляется водосборными желобами или дырчатыми трубами с затопленными отверстиями. Расход воды в одном желобе определяется по формуле:

$$q_{ос} = \frac{(1-K) \cdot q}{2 \cdot N}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.25)$$

где $K = 0,6-0,8$ – коэффициент распределения воды между зоной осветления и осадкоуплотнителем, N – число желобов в коридоре осветлителя ($N = 2$).

Полная высота осветлителя определяется по формуле:

$$H_{осв} = h_{нпр} + h_{верт} + h_{доп}, \text{ м}, \quad (2.26)$$

2.6. Удаление грубодисперсных примесей в поле центробежных сил

2.6.1. Осаждение в поле центробежных сил. Гидроциклоны

Для осветления воды, содержащей грубодисперсные примеси (ГДП), все более широкое применение получают *центрифуги* и *гидроциклоны* (рис. 2.31). Их действие основано на использовании поля центробежных сил, где выделение механических примесей из воды происходит под воздействием этих сил, которые в сотни и тысячи раз превышают силы тяжести, за счет чего увеличивается скорость осаждения частиц. При этом эквивалентно сокращается продолжительность процесса осветления воды и значительно уменьшается необходимый объем центробежного аппарата по сравнению с объемом отстойника. Режим движения жидкости в поле центробежных сил – турбулентный. Передача вращения от периферии внутрь происходит

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

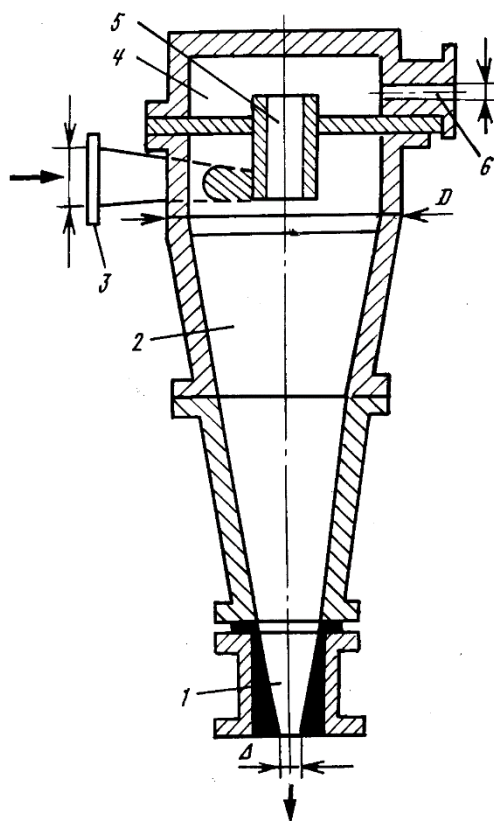


Рис. 2.31. Схема одноярусного напорного гидроциклона:
1 – сменная насадка для выпуска осадка; 2 и 4 – коническая и цилиндрическая часть; 3, 5 – питающий и сливной патрубки, 6 – отвод осветленной воды

Осветление воды в поле центробежных сил при вращении воды в аппарате основано на переносе частиц взвеси к периферии центробежной силой, равной разности значений центробежной силы для твердой и жидкой фаз. Эта сила P , возникающая при тангенциальном впуске воды в аппарат под некоторым давлением, равна

$$P = \frac{\pi d^2 (\rho_m - \rho_{ж})}{6} \cdot \frac{v^2}{R}, \quad (2.27)$$

где d – эквивалентный диаметр частиц взвеси, см; ρ_m и $\rho_{ж}$ – плотность твердой и жидкой фазы в осветляемой воде, г/см³; v – скорость движения воды на входе в аппарат, см/с; R – расстояние от центра аппарата до оси тангенциального питающего патрубка, см.

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

Многочисленными исследованиями установлена эффективность осветления воды в проточных центрифугах и гидроциклонах. Однако высокая стоимость проточных центрифуг и сложность эксплуатации делают их не конкурентоспособными в сравнении с гидроциклонами. Вместе с тем, результаты исследований Г.А. Ильясова показали целесообразность и эффективность применения центрифуг с подложкой для извлечения из воды планктона и ГДП.

Гидроциклоны могут быть открытыми и напорными. Открытые гидроциклоны устраивают одно- и многоярусными. В основу проектирования и расчета многоярусных гидроциклонов принимается формула для определения гидравлической крупности частиц u , на задержание которых рассчитывают аппарат:

$$u = \frac{qD^2}{3,6(D^2 - d^2)} \quad (2.28)$$

где q – гидравлическая нагрузка, приходящаяся на один ярус гидроциклона, м³/(м²·ч); D и d – соответственно диаметры гидроциклона и шламозадерживающего козырька, м.

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

Обрабатываемая вода подводится в верхнюю часть гидроциклона тангенциально и, вращаясь, движется к сливному патрубку, расположенному в центре по оси аппарата. Центробежной силой диспергированные примеси воды перемещаются к стенкам гидроциклона и по ним спускаются вниз, в конус, через насадку в нижней части которого они непрерывно удаляются в сток.

Перемещение твердых частиц к стенкам аппарата происходит со скоростью, равной разности между значением скорости, возникающей в результате действия центробежных сил, и радиальной скорости движения, направленной к центру.

Подачу гидроциклона по осветленной воде q определяют по формуле

$$q = 864 \alpha \frac{d}{d_n} \alpha (2g\Delta H)^{0,5} \quad (2.29)$$

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

Потери напора в гидроциклоне зависят от его конструкции и подачи. С возрастанием расхода воды через аппарат в нем увеличивается скорость движения воды, адекватно этому возрастает и эффект осветления воды, одновременно растут и потери напора в гидроциклоне.

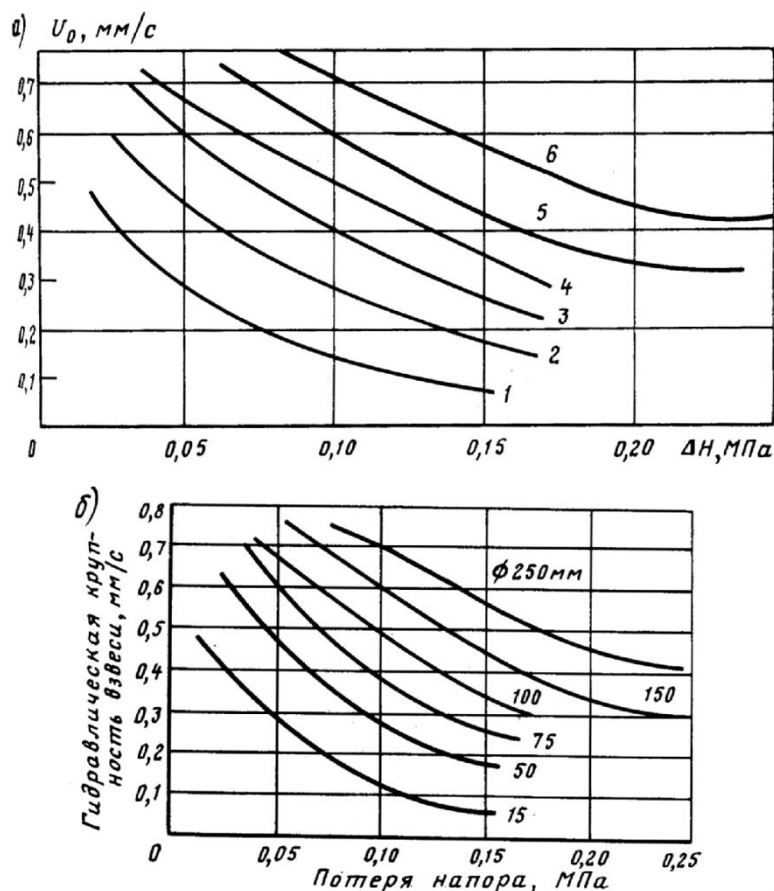


Рис. 2.32. Графики для определения диаметра гидроциклона и потерь напора в нем (а) и его эффективности от потери напора (б)

Чем меньше диаметр гидроциклона, тем выше (при равном напоре) эффект осветления воды (рис. 2.32). Поэтому для обработки вод, содержащих тонкодисперсную взвесь, следует использовать аппараты малого диаметра.

К достоинствам гидроциклонов следует отнести: компактность, простоту устройства и отсутствие движущихся частей; высокую объемную производительность; большую скорость и высокую эффективность разделения суспензий; простоту обслуживания; быстроту пуска и выключения из работы; возможность разнообразного использования без затраты дополнительной площади; возможность соблюдения санитарных условий труда; непрерывность процесса и возможность автоматизации. Недостатками гидроциклонов являются: быстрый износ, особенно при обработке твердых материалов; колебания эффекта осветления в зависимости от состава и содержания взвешенных веществ в исходной воде; не всегда возможно полное выделение частиц заданного размера, поскольку гидроциклон действует как пропорциональный разделитель.

Чем меньше диаметр гидроциклона, тем больше развивающиеся в нем центробежные силы и тем меньше размер задерживаемых в гидроциклоне частиц. Большая эффективность разделения достигается в гидроциклоне вытянутой формы с возможно малым углом конусности. Поэтому для задержания тонкодисперсной взвеси используют гидроциклоны малого диаметра, устанавливая их параллельно в большом количестве. Такой аппарат называют мультициклоном (рис. 2.33).

Пластмассовые мультициклоны диаметром 10, 15 и 20 мм способны задерживать частицы взвеси гидравлической крупности до 0,17 мм/с при потере напора около 0,1 МПа. Подача одного гидроциклона диаметром 15 мм при этой потере напора составляет около 0,07 м³/ч. Подача мультициклона диаметром 1,0 м, состоящего из 320 таких гидроциклонов, составляет порядка 500 м³/сут.

При расчете гидроциклона первоначально по кривой осаждения взвеси определяют расчетную гидравлическую крупность извлекаемых примесей. Затем по графику рис. 2.32 находят диаметр аппарата и последующим технико-экономическим расчетом уточняют его параметры.

Гидроциклоны целесообразно использовать в системах хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения для предварительного осветления поверхностных вод, обладающих высокой кратковременной мутностью (более 1500 мг/л). Применение гидроциклонов вследствие их небольшой стоимости позволяет сократить затраты на строительство и эксплуатацию сооружений для предварительного осветления воды.

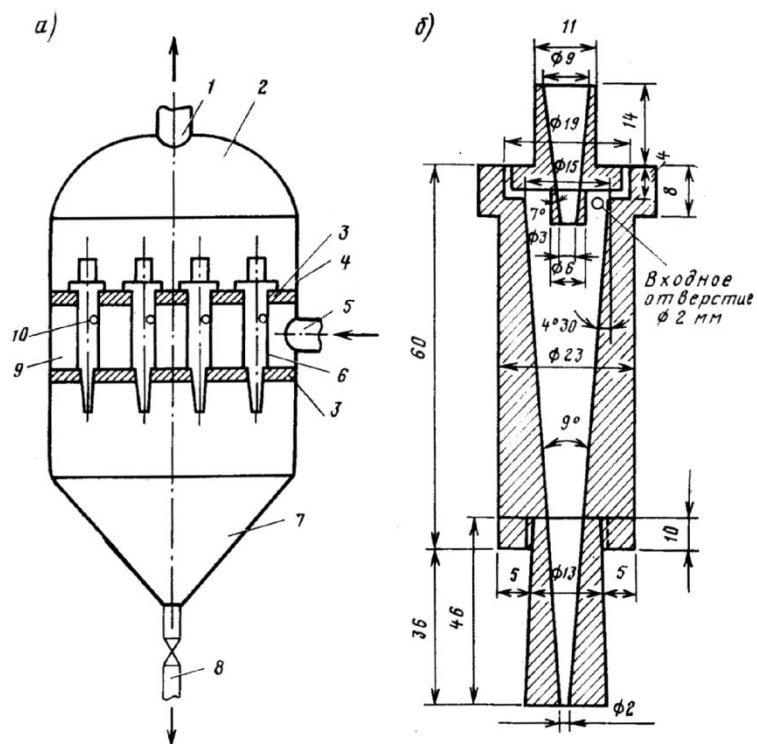


Рис. 2.33. Схема мультициклона (а) и гидроциклона диаметром 15 мм (б):
 1,5 – сливной и питающий патрубки; 2, 9 – камера сбора осветленной и распределения исходной воды; 3 – разделительные плиты; 4 – цилиндрическая часть аппарата; 6 – гидроциклоны диаметром 10 мм (15 или 20 мм); 7 – шламовая камера; 8 – патрубок сброса шлама; 10 – входное отверстие

2.7. Фильтрация воды

2.7.1. Теоретические основы процесса фильтрации воды через зернистые материалы. Классификация фильтров

Фильтрация – один из способов осветления воды, позволяющий выделить из нее не только диспергирование, но коллоидные примеси, которые задерживаются на поверхности или в межпоровом пространстве фильтрующего материала. Этот процесс сопровождается значительными затратами энергии, что определяет место фильтровальных сооружений в технологической схеме. В большинстве случаев фильтрация – заключительный этап при осветлении и обесцвечивании питьевой воды.

По виду фильтрующей основы фильтры делятся на тканевые или сетчатые (микрофильтры, барабанные сита, акустические фильтры и т.п.); каркасные или намывные; зернистые (песчаные, керамзитовые и т.п.). В технологиях улучшения качества воды распространены фильтры с зернистой загрузкой, которые классифицируют по следующим основным признакам:

- по скорости фильтрации: медленные (0,1-0,3 м/ч), быстрые (5-12 м/ч) и сверхбыстрые (25-100 м/ч);
- по давлению, под которым они работают: безнапорные (открытые) и напорные;
- по направлению фильтрующего потока: одноструйные (обычные быстрые и медленные фильтры), двухструйные (фильтры АКХ и ДДФ) и многоструйные;
- по числу фильтрующих слоев: одно-, двух-, трех-, и многослойные;
- по крупности зерен фильтрующего материала: мелко-, средне-, крупнозернистые.

Быстрые фильтры с площадью более 30 м² устраивают с центральным каналом, а при меньшей площади – с боковым карманом. Коагулированная и прошедшая предочистку вода подается в боковой карман, а из него – в камеру фильтра. Высота слоя воды над поверхностью загрузки должна быть не менее 2 м. В процессе фильтрации вода проходит фильтрующий и поддерживающий слой, а затем поступает в распределительную систему, из нее в резервуар чистой воды.

При промывке фильтров промывная вода поступает в распределительную систему и далее в фильтрующий слой, который она проходит снизу вверх, расширяя (взвешивая) его. Дойдя до верхней кромки желобов, промывная вода вместе с вымытыми из фильтрующего материала загрязнениями переливается в желоба, а из них в боковой карман и отводится в водосток.

Расчетную скорость фильтрации v (6-10 м/ч) и толщину слоя однослойной фильтрующей загрузки h (0,7-2,0 м) в соответствии со СНиПом следует принимать в зависимости от крупности зерен загрузки.

Фильтрующий слой выполняют из отсортированного материала, чаще всего речного кварцевого песка крупностью от 0,5 до 2,0 мм. Могут быть

применены и другие материалы, удовлетворяющие санитарным требованиям и обладающие достаточной химической стойкостью и механической прочностью (дробленый антрацит, керамзит, керамическая крошка, дробленый мрамор, полимеры и др.).

Поддерживающий слой (0,45-0,5 м), на котором лежит фильтрующий слой, укладывают с целью, чтобы мелкий фильтрующий материал не вымывался из фильтрующего слоя и не уносился вместе с фильтруемой водой через отверстия распределительной системы. Поддерживающий слой в свою очередь состоит из слоев гравия или щебня разной крупности, увеличивающейся сверху вниз от 2-5 до 20-40 мм. Толщина каждого слоя также увеличивается сверху вниз. Недостатком поддерживающих слоев является возможность их смещения при промывке, что нарушает работу фильтра.

Распределительная или дренажная система является важным элементом фильтра. Она должна собирать и отводить профильтрованную воду без выноса зерен фильтрующего материала, а при промывке – равномерно распределять промывную воду по площади фильтра. Для скорых фильтров применяют распределительные системы большого сопротивления. Равномерность распределения промывной воды по площади в таких системах достигается вследствие большого сопротивления движению воды через проходные отверстия.

Наиболее распространены **трубчатые** распределительные системы – чугунные, полимерные или стальные трубы с отверстиями 10-12 мм, укладываемые параллельно на расстоянии 0,25-0,35 м друг от друга нижних слоев гравия и присоединяемые к коллектору (трубе большого диаметра) или каналу, расположенному в середине днища фильтра параллельно его длинной стороне. Отверстия в трубах располагаются вертикально или в шахматном порядке снизу под углом 45° к вертикали. Общая площадь отверстий должна составлять 0,25 - 0,3% площади фильтра.

В последние годы разработано много новых конструкций распределительных устройств. Из них наибольшее распространение получили щелевые, колпачковые системы, системы с применением пористых керамических или бетонных плит. Большим достоинством этих конструкций является то, что они дают возможность отказаться от поддерживающих слоев, благодаря чему уменьшается высота и, следовательно, стоимость фильтра; кроме того, устраняется опасность неравномерного распределения воды из-за смещения поддерживающих слоев при промывке.

Щелевое распределительное устройство представляет собой систему труб со щелями или ложное щелевое дно. Ширина щелей должна быть на 0,1 мм меньше размера самой мелкой фракции загрузки. Для трубчатого щелевого дренажа следует применять трубы из нержавеющей стали либо полиэтилена. Щели располагаются равномерно поперек оси по периметру трубы не менее чем в два ряда на расстоянии не менее 20 мм друг от друга. Общая площадь щелей составляет 1,5-2% площади фильтра.

Колпачковая распределительная система монтируется в дренажном (ложном) дне или на распределительных трубах из расчета 35-50 колпачков на 1 м² площади фильтра. Выпускают колпачки двух видов: щелевые пластмассовые (ВТИ-К) и фарфоровые (ВТИ) или пористые. Скорость движения воды или водовоздушной смеси в щелях колпачков принимают не менее 1,5 м/с. Общая площадь проходных отверстий всех колпачков должна составлять 0,8-1,0% рабочей площади фильтра.

Распределительная система из **пористых сборных керамических, полимербетонных или бетонных плит**, устраиваемая в виде промежуточного днища, не требует поддерживающего слоя. Керамические плиты выпускаются размером 40х40х5 или 25х50х5 см. Размеры пор в плитах в два с лишним раза больше размеров пустот в фильтрующем слое при среднем диаметре зерен песка 0,75 мм. Поэтому загрязнения, прошедшие через фильтрующий слой, проходят и через пористый дренаж, практически не загрязняя его. Плиты изготавливают и из пористого бетона и полимербетона сборными и реже монолитными. Замену плит производят через 7-8 лет.

Большое распространение получили **трубчатые безгравийные дренажи** на основе пористых полимерных материалов или сеток. Например, трубофильтр «Экотон» конструктивно представляет собой трубчатое изделие, в котором перфорированный несущий каркас (полиэтиленовая труба) меньшего диаметра размещен внутри волокнисто-пористой трубы с образованием воздушного зазора между ними (ЭФТ/В). Компанией «Экополимер» выпускаются фильтры дренажные АФТ АПМ-ДФ, которые состоят из опорной трубы (каркаса), поверхность которой имеет двухслойное покрытие, наружный слой которого защитно-фильтрующий. Каркас АФТ имеет сложный геометрический профиль в виде чередующихся гребней и впадин.

Развитием щелевого дренажа являются арочные конструкции из нержавеющей стали, например, дренажная система «Тритон» или «АКВАДЕФ-МТ». В основе щелевых дренажно-распределительных систем лежат щелевые решётки полуцилиндрической формы, выполненные из проволоки V-образного профиля из нержавеющей стали. Внутреннее распределительное устройство выполнено из перфорированных U-образных желобов для отвода воды и подачи водовоздушной смеси при промывке. В нижней части фильтрационной камеры имеется лоток для сбора фильтрованной воды и подачи водовоздушной смеси для промывки фильтров.

Последние разработки в области щелевых дренажных систем – это система, производимая компанией «Leopold», представляющая каналы прямоугольного сечения со встроенными щелевыми пластинами (т.н. покрытие I.M.S.), с камерами подачи и компенсации в пределах поперечного сечения одинарного блока. Все элементы выполнены из пластика.

Физическая сущность действия распределительных систем большого сопротивления заключается в том, что гидродинамическая неустойчивость взвешенного слоя загрязненной загрузки нейтрализуется сопротивлением отверстий или щелей на пути движения воды. Для обеспечения равномерности

распределения промывной воды по площади фильтра необходимо, чтобы суммарное сопротивление на пути потока промывной воды (сопротивление в распределительной системе сопротивление в загрузке) возрастало с увеличением интенсивности промывки.

Интенсивность промывки скорых фильтров принимается в зависимости от требуемого относительного расширения, типа загрузки, температуры воды и составляет 12-18 л/с·м². Продолжительность промывки 6-10 мин.

Поперечное сечение промывного желоба может быть с треугольным дном или полукруглым. Расстояние между желобами (по их осям) принимают в пределах 1,4-2,2 м. Дну желоба придается уклон 0,01 по ходу движения воды. Сборные желоба можно изготавливать из железобетона, металла или стеклопластика.

Вода подается на промывку специальным промывным насосом из резервуара чистой воды или из канала профильтрованной воды. Можно подавать воду и самотеком из специально установленного на требуемой высоте промывного бака или промывной башни. Объем бака должен быть рассчитан на две промывки (при промывке одного фильтра) или на три промывки (при одновременной промывке двух фильтров).

При реагентном умягчении воды или реагентом обезжелезивании наряду с обычной промывкой целесообразно применять поверхностную промывку с целью отмытки загрязнений в верхнем слое загрузки. Ее можно производить с помощью дырчатых неподвижных или вращающихся промывных труб, через которые под напором 0,3-0,4 МПа подается вода. Скорость в подводящих трубах 2,5-3 м/с, скорость выхода воды из отверстий 8-10 м/с, интенсивность промывки 3-4 л/(с·м²)

Теоретические основы очистки воды фильтрованием через зернистые материалы рассматривались многими исследователями. Наибольшее признание получила теория Д.М. Минца. Она экспериментально подтверждена и доведена до практического использования.

Согласно теории Д.М. Минца, при движении воды, содержащей взвешенные частицы, через зернистую загрузку фильтровальных аппаратов последние задерживаются загрузкой и вода осветляется. Одновременно в толще загрузки накапливаются загрязнения, вследствие чего уменьшается свободный объем пор, увеличивается гидравлическое сопротивление загрузки. Возрастание гидравлического сопротивления приводит к росту потери напора в загрузке.

Извлечение примесей из воды и их закрепление на зернах фильтрующей загрузки происходит под действием сил адгезии. Осадок, накапливающийся в загрузке из задержанных примесей, имеет весьма непрочную структуру. Под влиянием гидродинамических сил потока эта структура разрушается и некоторая часть ранее прилипших частиц отрывается от зерен загрузки в виде мелких хлопьев и переносится в последующие слои загрузки (суффозия), где вновь задерживается в поровых каналах. Следовательно, осветление воды в зернистой загрузке следует рассматривать как суммарный результат двух

противоположных процессов: процесса *адгезии* и процесса *суффозии*. Осветление воды в каждом элементарном слое загрузки происходит до тех пор, пока интенсивность прилипания частиц превышает интенсивность их отрыва. По мере накопления осадка интенсивность отрыва частиц увеличивается. Кинетика прилипания и отрыва частиц определяет ход процесса осветления воды по толщине слоя фильтрующей загрузки.

По мере насыщения верхних слоев загрузки возрастает роль ниже расположенных, а толщина загрузки, необходимая для извлечения из воды взвеси, увеличивается. Затем наступает такой момент, когда вся толщина загрузки недостаточна для обеспечения необходимой степени осветления воды и концентрация взвеси на выходе из загрузки начинает возрастать. *Время, в течение которого загрузка способна осветлять воду до требуемой степени, называется временем защитного действия загрузки.* До достижения этого времени на выходе из загрузки получают воду надлежащего качества. По истечении времени защитного действия качество фильтрата начинает быстро ухудшаться.

Извлекаемые слоем из воды частицы образуют осадок на зернах слоя, накапливающийся в ходе процесса.

Осадок, образующийся в зернистой загрузке при фильтровании воды, изменяет поперечное сечение и форму поровых каналов, т.е. геометрическую структуру пористой среды. Из теории фильтрования однородных жидкостей известно, что геометрическая структура пористой среды оказывает существенное влияние на ее гидравлическое сопротивление. Поэтому при накоплении осадка гидравлическое сопротивление зернистого слоя изменяется и потери напора в нем растут.

Соотношение между продолжительностью защитного действия загрузки t_3 и времени, в течение которого достигается предельная потеря напора t_n , могут быть различные. Когда $t_3 > t_n$ фильтр выключают на промывку в связи с тем, что дальнейший прирост потери напора невозможен, так как существующий напор, обусловленный расположением сооружений, расходуется на преодоление сопротивления загрузки. Когда $t_3 < t_n$, фильтр выключают на промывку в связи с начинающимся ухудшением качества фильтрата, а когда $t_3 = t_n$, то моменты достижения предельной потери напора и начала ухудшения качества фильтрата совпадают. С технико-экономической точки зрения наилучшим соотношением является $t_3 = t_n$. Так, условие $t_3 > t_n$ означает, что задерживающая способность загрузки используется не полностью, так как фильтр выключают на промывку (при предельной потере напора), хотя он мог бы еще в течение некоторого времени работать, выдавая воду требуемого качества. При $t_3 < t_n$ не полностью используется располагаемый напор, так как фильтр выключают на промывку (вследствие ухудшения качества фильтрата) в момент, когда потеря напора в загрузке не достигла своего максимума.

При фильтровании воды через слой зернистого материала в зависимости от заряда и соотношения размеров примесей воды и зерен фильтрующей загрузки могут наблюдаться следующие виды фильтрования:

1) задержание примесей на поверхности фильтрующего слоя (пленочное фильтрование);

2) задержание примесей в порах фильтрующего слоя (объемное фильтрование);

3) одновременное образование примесями пленки и их отложение в порах загрузки.

В большинстве случаев на современных фильтрах пленка не образуется и примеси вместе с водой проникают загрязнений в толщу фильтрующего слоя, при этом глубина проникания загрязнений в толщу загрузки тем больше, чем больше скорость фильтрования, крупнее зерна фильтрующего слоя и чем меньше размеры частиц взвеси, извлекаемых из воды. В основе объемного фильтрования лежит предварительное коагулирование примесей воды с целью уменьшения и ликвидации их заряда. Так как при обычных значениях pH исходной воды поверхность зерен фильтрующего материала и частицы примесей воды несут отрицательный заряд, взвесь в порах фильтрующего слоя задерживается плохо.

2.7.2. Скорые открытые и напорные фильтры, их устройство и расчет

Расчет скорых фильтров предусматривает определение их площади и числа, нахождение числа и размеров промывных желобов, подбор фильтрующей загрузки, определение размеров элементов распределительной системы, бокового кармана или центрального канала и трубопроводов обвязки. Фильтры и их коммуникации должны рассчитываться на работу при нормальном и форсированном режимах.

Общую площадь фильтров комплекса F_{ϕ} , м^2 , определяют по формуле:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{Tv_n - n_{np}q_{np} - n_{np}t_{np}v_n}, \quad (2.30)$$

где Q – полезная суточная производительность комплекса, $\text{м}^3/\text{сут}$; T – период работы водоочистного комплекса в течение суток, ч; v_n – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, $\text{м}/\text{ч}$; n_{np} – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации; q_{np} – удельный расход воды на одну промывку фильтра, $\text{м}^3/\text{м}^2$; t_{np} – время простоя фильтра в связи с промывкой: при промывке водой $t_{np} = 0,33$ ч, водой и воздухом $t_{np} = 0,5$ ч.

Количество фильтров на водоочистном комплексе с суточной производительностью свыше 1600 м^3 принимают не менее четырех. При суточной производительности комплекса более $8 \dots 10$ тыс. м^3 число фильтров N_{ϕ} находят из выражения $N_{\phi} = 0,5\sqrt{F_{\phi}}$ при соблюдении соотношения

$$v_{\phi} = \frac{v_n N_{\phi}}{N_{\phi} - N} \quad (2.31)$$

где v_{ϕ} – скорость фильтрования при форсированном режиме, м/ч; N – число фильтров в ремонте.

Площадь одного фильтра следует принимать не более 120 м².

Поперечное сечение промывного желоба может быть пятиугольным с треугольным дном или полукруглым. Расстояние между желобами (по их осям) принимают в пределах 1,4...2,2 м. Дну желоба придается уклон 0,01 по ходу движения воды. Сборные желоба можно изготавливать из железобетона, асбестоцемента или стеклопластика. В качестве сборного промывного устройства могут быть применены также дырчатые трубы, располагаемые ниже уровня воды на фильтре на расстоянии 0,7...0,8 м друг от друга. Ширину желоба B определяют по формуле

$$B = K_{\text{жс}} \left[\frac{q_{\text{жс}}^2}{(1,57 + a_{\text{жс}})^3} \right]^{0,2}, \quad (2.32)$$

где $K_{\text{жс}}$ — коэффициент, принимаемый равным: для желобов с треугольным лотком – 2,1, с полукруглым – 2; $q_{\text{жс}}$ – расход промывной воды по желобу, м³/с; $a_{\text{жс}} = 1...1,5$ – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины.

Желоба располагают от поверхности фильтрующей загрузки на такой высоте $H_{\text{жс}}$, чтобы в них попадали только вымытые загрязнения:

$$H_{\text{жс}} = \frac{H_z e_z}{100} + 0,3, \quad (2.33)$$

где H_z – высота фильтрующего слоя, м; e_z – относительное расширение фильтрующей загрузки, принимаемое по СП в пределах 25...50 %.

Расстояние от дна желоба до дна бокового кармана или центрального канала $H_{\text{к}}$ определяют из выражения

$$H_{\text{к}} = 1,73 \left(\frac{q_{\text{к}}^2}{g B_{\text{к}}^2} \right)^{1,3} + 0,2, \quad (2.34)$$

где $q_{\text{к}}$ – расход промывной воды по каналу, м³/с; $B_{\text{к}} = 0,7...0,8$ – ширина канала, м.

Параметры фильтрующей загрузки и режим работы фильтра надлежит принимать по табл. 15 СП 31.13330.2012 (табл. 2.3).

Параметры фильтрующей загрузки и режим работы скорых фильтров

Фильтры	Характеристика фильтрующего слоя					Скорость фильтрования, м/ч		
	Материал загрузки	Диаметр зерен, мм			Коэффициент неоднородности загрузки	Высота слоя, м	При нормальном режиме v_n	При форсированном режиме v_{ϕ}
		Наименьших	Наибольших	Эквивалентный				
Однослойные скорые фильтры с загрузкой различной крупности	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	5-6	6-7,5
		0,7	1,6	0,8-1	1,6-1,8	1,3-1,5	6-8	7-9,5
		0,8	2	1-1,2	1,5-1,7	1,8-2	8-10	10-12
	Дробленый керамзит	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	6-7	7-9
		0,7	1,6	0,8-1	1,6-1,8	1,3-1,5	7-9,5	8,5-11,5
		0,8	2	1-1,2	1,5-1,7	1,8-2	9,5-12	12-14
Скорые фильтры с двухслойной загрузкой	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	7-10	8,5-12
	Дробленый керамзит или антрацит	0,8	1,8	0,9-1,1	1,6-1,8	0,4-0,5		

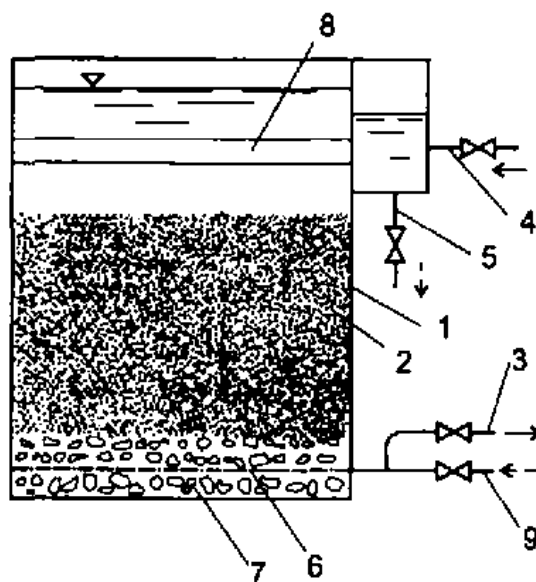


Рис. 2.34. Схема скорого фильтра:

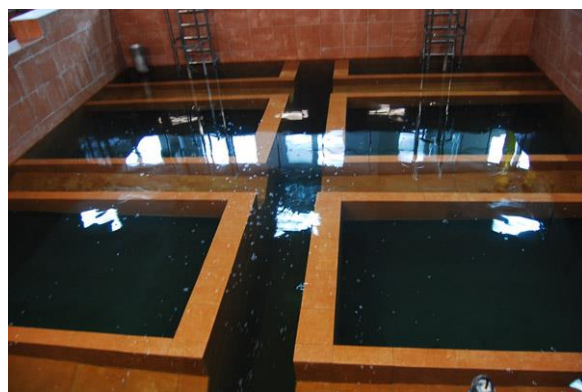
1 – корпус; 2 – фильтрующая загрузка; 3 – отвод фильтрата; 4 – подача исходной воды; 5 – отвод промывной воды; 6 – нижняя дренажная система; 7 – поддерживающий слой; 8 – желоб для сбора промывной воды; 9 – подача воды на промывку

Распределительные системы скорых фильтров устраивают с поддерживающими слоями и без них. Они могут быть трубчатыми, щелевыми, пористыми, в виде ложного дна. Потери напора в распределительной системе следует находить по формуле

$$h = \xi \frac{v_o^2}{2g} + \frac{v_k^2}{2g}, \quad (2.35)$$

где v_k – скорость в начале коллектора, принимаемая при промывке 0,8...1,2 м/с; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления, принимаемый по СП; v_o – средняя скорость на входе в ответвления, принимаемая при промывке 1,6...2 м/с.

В технологии обработки воды наряду со скорыми фильтрами широко применяют контактные фильтры (КФ), двухпоточные двухслойные фильтры (ДДФ) и каркасно-засыпные скорые фильтры. Это фильтры большой грязеемкости. Под **грязеемкостью** подразумевают количество загрязнений, задержанных фильтрующей загрузкой в течение фильтроцикла (т.е. от промывки до другой промывки), отнесенное к единице площади фильтрования.



а)



б)



в)

Рис. 2.35. Внешний вид скорых фильтров:
а) зал скорых фильтров; б) коридор трубопроводов; в) вид на сборные желоба, загрузку и дренажную систему

2.7.3. Фильтрующие материалы.

Фильтрующая загрузка является основным рабочим элементом фильтровальных сооружений, поэтому правильный выбор ее параметров имеет первостепенное значение для их нормальной работы. При выборе фильтрующего материала основополагающими являются его стоимость, возможность получения в районе строительства данного фильтровального комплекса и соблюдение определенных технических требований, к числу которых относятся: надлежащий фракционный состав загрузки; определенная степень однородности размеров ее зерен; механическая прочность; химическая стойкость материалов по отношению к фильтруемой воде.

Однородность и крупность фильтрующего материала определяют ситовым анализом путем просеивания навески материала через ряд калиброванных сит. Калибр сита определяется диаметром шара, равновеликого по объему наиболее крупным зернам фильтрующего материала, проходящим еще через данное сито.

Эквивалентный диаметр зерен $d_{\text{э}}$, мм, определяют по формуле

$$d_{\text{э}} = \frac{100}{\sum \frac{p_i}{d_k}} \quad (2.36)$$

где p_i – процентное содержание (по массе) фракций со средним диаметром зерен d_k , т.е. масса просеиваемых зерен, оставшихся на сите калибром d_k .

Коэффициент неоднородности фильтрующей загрузки определяют как отношение 80%-го калибра материала к его 10%-му калибру; $k_n = d_{80}/d_{10}$. Важным показателем качества фильтрующего материала является его механическая прочность. Механическую прочность фильтрующих материалов оценивают двумя показателями: истираемостью (т.е. процентом износа

материала вследствие трения зерен друг о друга во время промывок – до 0,5%) и *измельчаемостью* (процентом износа вследствие растрескивания зерен – до 4,0%).

Наиболее распространенным фильтрующим материалом является кварцевый песок – речной или карьерный. Кварцевый песок при небольшом содержании примесей известняка отвечает всем вышеперечисленным требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам. Наряду с песком применяют антрацит, керамзит, горелые породы, шунгизит, вулканические и доменные шлаки, гранодиорит, пенополистирол и др.

В качестве фильтрующих материалов могут быть использованы также отходы промышленных производств, доменные шлаки и шлаки медно-никелевого производства. Достоинством шлаков является то, что они обычно имеют фракционный состав, близкий к тому, который требуется для загрузки фильтровальных аппаратов.

В качестве фильтрующего материала на фильтрах с плавающей загрузкой используют пенополистирол. Этот зернистый материал получают вспучиванием в результате тепловой обработки исходного материала – полистирольного бисера, выпускаемого химической промышленностью. При вспенивании получают плавающие в воде зерна, имеющие плотность от 100 до 200 кг/м³.

Находят применение активные фильтрующие материалы, которые благодаря своим свойствам могут извлекать из воды не только взвешенные и коллоидные примеси, но и истинно растворенные загрязнения. Так, для стабилизационной обработки воды применяют мраморную крошку и магномассу. Все более широко применяют активные угли для извлечения из воды веществ, обуславливающих привкусы и запахи. Применяют природный ионообменный материал клиноптилолит для удаления из воды растворенных соединений фтора и азота. Однако, доступность и дешевизна этого материала позволяют все более широко применять его в качестве загрузки фильтровальных аппаратов.

Поддерживающие слои способствуют более равномерному распределению промывной воды по площади фильтра и поддерживают фильтрующую загрузку. В качестве поддерживающих слоев применяют гравий или щебень изверженных пород; примесь зерен известняка в них допускается не более 15%, а примесь зерен мела недопустима.

2.7.4. Промывка фильтровальных аппаратов

Момент работы фильтра, когда потеря напора в фильтрующей загрузке достигает предельно допустимого значения или начинает ухудшаться качество фильтрата, служит сигналом для выключения фильтра на промывку в целях восстановления задерживающей способности загрузки. Промывку фильтрующей загрузки в скорых фильтрах производят обратным током воды, или воды и воздуха, для чего, как правило, используют фильтрованную воду.

Перед промывкой фильтра подачу воды на него прекращают. Когда уровень воды в нем понизится до кромки желобов, начинают подачу промывной воды в нижнюю дренажную систему фильтра (от специального промывного насоса или от бака, расположенного на определенной высоте). Промывная вода, равномерно распределяется по площади фильтра и поднимается вверх через загрузку с такой интенсивностью, которая обеспечивает переход зерен фильтрующей загрузки во взвешенное состояние. При этом загрузка как бы расширяется и поверхность, которую она занимала в процессе фильтрования, приближается к кромке желобов.

При взвешенном состоянии загрузки отдельные зерна ее непрерывно соприкасаются друг с другом, в результате чего налипшие на них загрязнения оттираются и вместе с потоком промывной воды переливаются в желоба, откуда отводятся в карман (или центральный канал) фильтра и далее сбрасываются в канализацию. Фильтр промывают до тех пор, пока вода, переливаемая в желоба, не станет прозрачной. Для нормально работающих скорых фильтров продолжительность промывки составляет 8...10 мин.

Промывка фильтров оказывает большое влияние на режим работы фильтров. Если в процессе промывки фильтрующая загрузка отмывается недостаточно, то это приводит к постепенному накоплению остаточных загрязнений, что сокращает фильтроцикл, а в отдельных случаях и вовсе выводит фильтр из работы. Поэтому конструктивное оформление большинства деталей и оборудования фильтров диктуется условиями его промывки.

Основной задачей при расчете промывки фильтров является установление такой интенсивности промывки и такого относительного расширения слоя загрузки, при которых обеспечивается практически полная отмывка зерен загрузки от прилипших к ним в процессе фильтрования загрязнений.

Для достижения одного и того же значения относительного расширения загрузки скорость восходящего потока воды должна быть тем больше, чем больше плотность материала загрузки и диаметр d зерен загрузки; необходимая скорость v уменьшается с увеличением вязкости воды (т. е. при низких температурах воды) и с увеличением коэффициента формы, т. е. для угловатых частиц.

Теоретические исследования, а также опыт эксплуатации фильтров рекомендуют следующие относительные расширения загрузок и необходимые интенсивности промывки. Для антрацитовых загрузок интенсивности промывки следует принимать на 70% меньшими, чем указаны в табл. 15 СП для песчаных загрузок скорых фильтров.

Для загрузок из кварцевого песка при >1 мм в целях повышения эффекта отмывки, снижения расхода промывной воды и уменьшения размеров водоотводящих устройств (желобов, каналов, трубопроводов), целесообразно применение *водовоздушной промывки*. Ее режим назначается следующим: продувка воздухом с интенсивностью 15...20 л/(с•м²) в течение 1...2 мин, затем совместная водовоздушная промывка с интенсивностью подачи воздуха 15...20 л/(с•м²) и воды 3...4 л/(с•м²) в течение 4...5 мин и последующая подача одной

воды с интенсивностью $6...8 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$ в течение $4...5$ мин. При водовоздушной промывке воду и воздух следует подавать по отдельным трубчатым распределительным системам или через распределительные системы со специальными колпачками.

Водовоздушную промывку рекомендуется применять для песчаных фильтров с системой горизонтального отвода промывной воды с пескоулавливающим желобом, образуемым двумя наклонными стенками — отбойной и водосливной (рис. 2.36, в). При использовании фильтрующих загрузок из дробленых антрацита и керамзита водовоздушная промывка не допускается.

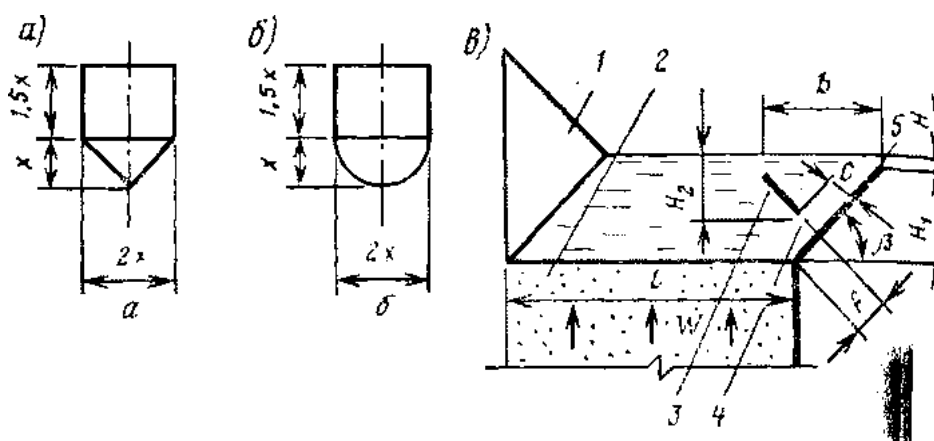


Рис. 2.36. Устройства для сбора и отведения промывной воды фильтровальных аппаратов.
 а — желоб с треугольным дном, $A = 4x^2$; б — желоб с полукруглым дном, $A = 4,57x^2$; в — система с боковым отводом промывной воды с пескоулавливающим устройством; 1 — струенаправляющий выступ; 2 — загрузка; 3, 5 — отбойная и переливная стенка пескоулавливающего устройства; 4 — щель для возврата выносимого песка, $a=15-20 \text{ мм}$, $b=30-40 \text{ мм}$

Скорость движения воды в трубопроводах, подающих и отводящих воду, назначают $1,5...2 \text{ м/с}$. Для удаления воздуха из трубопровода, подающего воду на промывку фильтров, располагаемого ниже кромки их желобов, необходимо предусматривать стояки — воздушники диаметром $75...150 \text{ мм}$.

Для промывки фильтра, особенно если его площадь велика, приходится в течение $7...9$ мин подавать большое количество воды, для чего требуется установка мощных насосов и электродвигателей. При наличии же промывного бака требуемое для промывки количество воды может подаваться в бак в течение сравнительно длительного времени (в зависимости от графика промывки фильтров), для чего потребуется насос значительно меньшей производительности. В этом случае можно подавать воду и от водоводов насосной станции II подъема. С другой стороны, устройство бака, располагаемого на высоте $10...15 \text{ м}$ от уровня пола первого этажа, как правило, вызывает увеличение объема строительных работ и удорожание строительства. Поэтому вариант подачи промывки воды выбирают на основании технико-экономических расчетов с учетом ряда местных условий: возможности получения мощных насосов и электродвигателей, возможности расположения

промывного бака на естественном возвышении, производительности водоочистной станции и др. При количестве фильтров более 20 промывной бак предусматривать не следует, так как время между промывками различных фильтров будет незначительным и недостаточным для наполнения бака. Вместимость бака для промывки фильтров подсчитывают, исходя из возможности последовательной промывки двух фильтров, по формуле

$$V_6 = \frac{2\omega AT 60}{1000} = 0,12\omega AT, \quad (2.37)$$

где w — принятая интенсивность промывки фильтра, л/(с·м²); A — площадь одного фильтра, м²; T — продолжительность промывки фильтра, мин.

Подачу промывного насоса определяют как произведение площади одного фильтра на принятую интенсивность промывки. Промывной насос забирает воду из резервуара чистой воды, в котором дополнительно должен предусматриваться запас воды на две последовательно проводимые промывки. Следует устанавливать два промывных насоса, из которых один резервный. Напор, развиваемый промывным насосом, или высота расположения промывного бака над уровнем отводных устройств фильтра, складывается из следующих величин: суммы гидравлических сопротивлений в трубопроводе и арматуре на пути движения промывной воды, сопротивлений в распределительной системе (дренаже) фильтра; сопротивления в загрузке фильтра; разности отметок отводных устройств фильтра и дна резервуара чистой воды (учитывается только при промывке от насоса); запаса неучтенные сопротивления, принимаемого равным 1,5...2 м. вод. ст.

Сопротивления в трубопроводах подсчитывают по таблицам, исходя из скорости движения воды 2...2,5 м/с, причем отдельно подсчитывают потери напора на местные сопротивления в тройниках, коленах, так как местные потери относительно велики по сравнению с сопротивлением в трубопроводе. Сопротивление в распределительной системе фильтра определяется при расчете этих систем. Сопротивление в загрузке фильтра принимается равным высоте загрузки.

При реагентом умягчении воды или реагентом обезжелезивании наряду с обычной промывкой целесообразно применять поверхностную промывку с целью отмычки загрязнений в верхнем слое загрузки и экономии (до 50%) промывной воды. Ее можно производить с помощью неподвижных или вращающихся промывных труб, или труб, располагаемых непосредственно над поверхностью фильтрующей загрузки. Струи воды, выходя с большими скоростями из отверстий или насадок промывной системы, разбивают и размельчают осевшие загрязнения, облегчая удаление их из фильтра. Размытый верхней промывкой фильтрующий слой в начале промывки снизу уже не поднимается вверх монолитным пластом, а взвешивается отдельными зернами в потоке промывной воды, *При вращающейся системе поверхностной промывки* расходуется значительно меньшее количество промывной воды, чем

при стационарной, при одинаковом качестве отмывки фильтрующего слоя. Кроме того, для изготовления вращающейся системы требуется значительно меньше труб. Однако, вращающую систему можно применять только для круглых и квадратных фильтров с размером фильтрующей площади не более 25 м². Для прямоугольных фильтров вращающуюся систему можно использовать при условии, если их площадь делится на два квадрата по 25 м² каждый. На прямоугольных фильтрах, не делимых на два квадрата, и на квадратных фильтрах площадью выше 25 м² следует применять *стационарную систему промывки*.

Вращающаяся система состоит из подвешенной трубы, от которой в центре фильтра опускается стояк, вращающейся пяты на стойке, двух горизонтально расположенных вращающихся труб с насадками и двух растяжек, придающих системе необходимую жесткость. Пята на стояке должна располагаться примерно на уровне кромок желобов, чтобы в нее не могли попадать зерна взвешенной фильтрующей загрузки. Общая длина вращающейся трубы принимается с таким расчетом, чтобы концы труб не доходили до стенок фильтра на 200...250 мм. На каждом плече вращающейся трубы располагаются насадки таким образом, чтобы при вращении труб струи воды, выходящие из насадок на одном плече трубы, приходились между струями, выходящими из насадок другой трубы. Расстояние между соседними насадками принимают 200...250 мм. При проектировании вращающейся системы для верхней промывки следует принимать: интенсивность промывки – 0,5...0,75 л/(с·м²); скорость движения воды в подводящих трубах – 2,5...3 м/с; напор в подводящем стояке – 0,4...0,5 МПа.

Стационарная система верхней промывки состоит из подводящих трубопроводов и ряда дырчатых труб, прокладываемых на расстоянии 6...8 см над поверхностью фильтрующей загрузки. При проектировании стационарной системы следует принимать: интенсивность промывки – 3...4 л/(с·м²); скорость движения воды в подводящих трубах – 2,5...3 м/с; скорость выхода воды из отверстий – 8...10 м/с; расстояние между дырчатыми трубами – 0,6...1,0 м; расстояние между отверстиями (направленными вниз под углом 45° к вертикали) – 8,0...10,0 см; напор в подводящем трубопроводе – 0,3...0,4 МПа.

2.7.5. Современные конструкции фильтровальных аппаратов

В современной отечественной и зарубежной практике используется много различных конструкций фильтровальных аппаратов с зернистой загрузкой. Основными тенденциями в их развитии являются: повышение надежности работы распределительной системы, отказ от применения поддерживающих слоев загрузки, использование новых фильтрующих материалов с большей адгезионной способностью, отказ от устройства водосборных желобов и переход на боковой отвод промывной воды, применение водовоздушной промывки, устройство фильтрующих загрузок повышенной грязеемкости.

На рис. 2.37, а, б показаны схемы открытых скорых фильтров с боковым карманом.

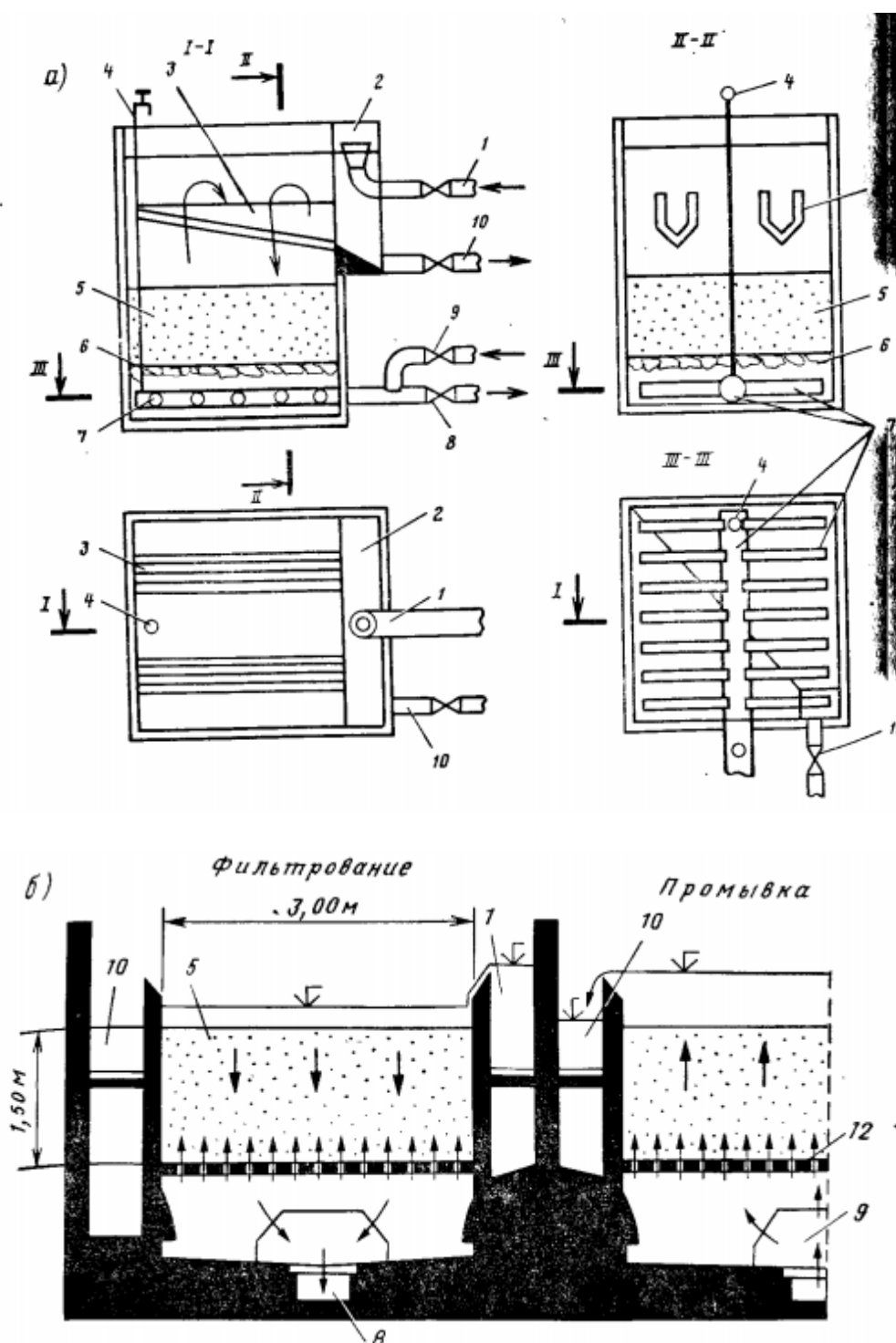


Рис. 2.37. Схема открытого (безнапорного) скорого фильтра с боковым карманом (а) и боковым отводом промывной воды (б):

1, 8 - подача исходной воды и отвод фильтрата; 2 - боковой карман; 3 - водосборные желоба; 4 - воздушник; 5 - фильтрующая загрузка (кварцевый песок, керамзит, шунгизит и др); 6 - поддерживающий слой гравия (щебня); 7 - распределительная система магистральная труба (или канал) и перфорированные ответвления; 9, 10 - подача и отвод промывной воды; 11 - водосток; 12 - колпачковая распределительная (дренажная) система

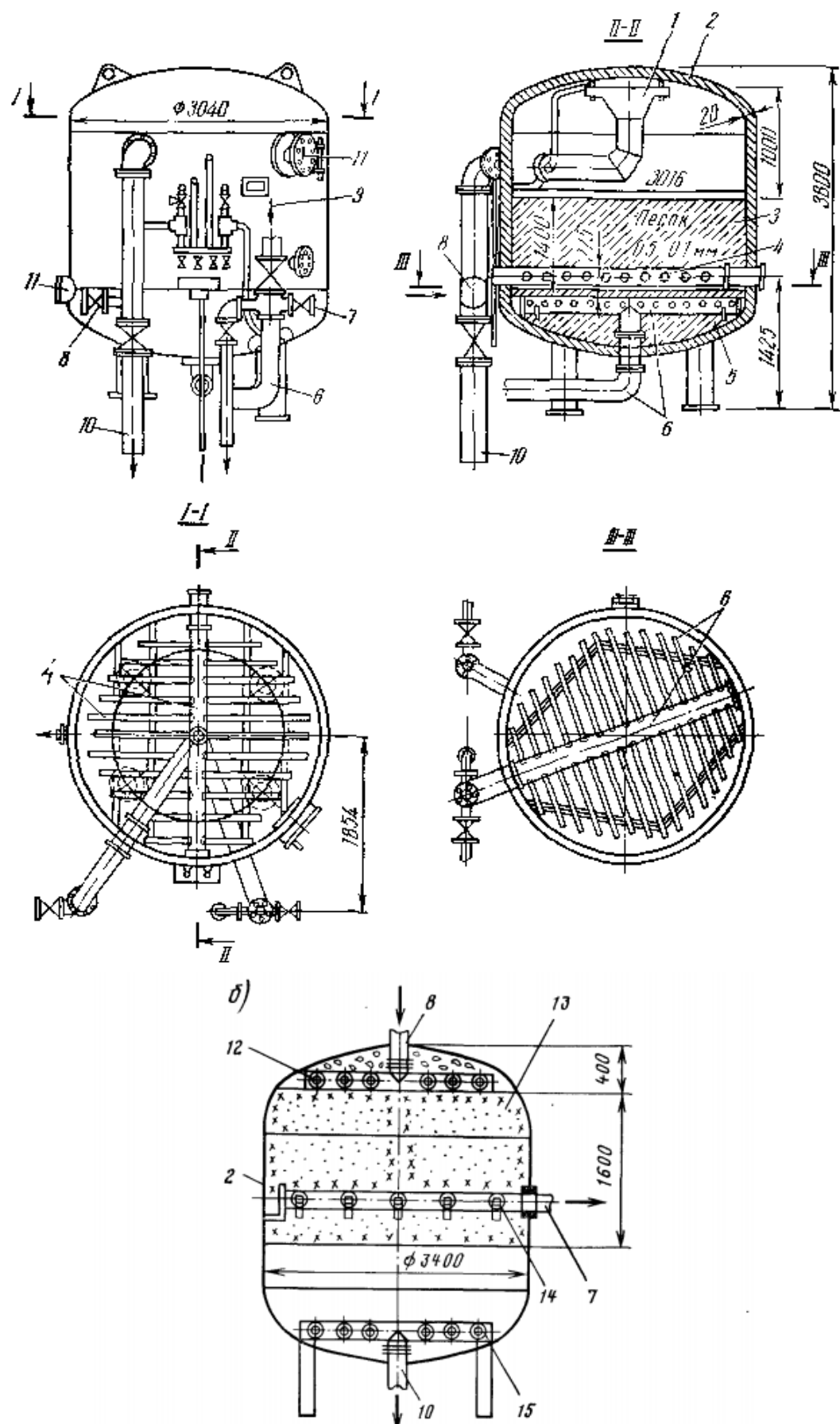


Рис. 2.38. Вертикальные напорные скорые фильтры с керамзитовой (а) и пенополистирольной (б) загрузкой

При площади одного фильтра более 30 м² его делят на две равные части распределительным каналом. Этот канал по высоте разбит на два изолированных друг от друга яруса. Через верхний ярус производится подача осветляемой воды и отвод загрязненной промывной воды, а через нижний — отвод фильтра и подвод вниз фильтра промывной воды.

На рис. 2.38 изображен *напорный скорый фильтр*, серийно выпускаемый нашей промышленностью. Наибольший диаметр напорного фильтра из условий удобства перевозки железнодорожным транспортом принят 3,4 м. Подача осветляемой воды и отвод промывной осуществляется через центрально расположенную воронку, обращенную широким концом кверху, или кольцевой перфорированный трубопровод. Фильтр не имеет поддерживающих слоев и фильтрующий материал располагается непосредственно на колпачковом или щелевом дренаже. Промывка загрузки предусмотрена водовоздушная, для чего, фильтр снабжен специальной распределительной системой для подачи во время промывки сжатого воздуха. Эта распределительная система располагается в фильтрующей загрузке над основным дренажем фильтра. Загрузка фильтра производится через верхний лаз. Для гидравлической выгрузки фильтрующей загрузки предусмотрен специальный разгрузочный штуцер. На рис. 2.38, б показан фильтр с загрузкой из вспененного полистирола.

Нашей промышленностью серийно выпускаются напорные вертикальные фильтры пяти типоразмеров. Высота фильтрующей загрузки в фильтрах всех размеров принята 1-2 м. Наибольший диаметр напорного фильтра из условий удобства перевозки железнодорожным транспортом принят 3,4 м, фильтрующая площадь такого фильтра составляет 7,1 м². Поэтому при более или менее значительной производительности водоочистной установки приходится устраивать большое число фильтров и арматуры, что удорожает строительство и усложняет эксплуатацию фильтров. Число устанавливаемых напорных фильтров может быть сокращено примерно в 4 раза в случае применения горизонтальных напорных фильтров, площадь фильтрования которых составляет 28...30 м², или вертикальных двух — и трехкамерных фильтров.

Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) являются эффективными, высокопроизводительными сооружениями по очистке природных, оборотных и сточных вод от гетерофазных примесей. Применение плавающих полимерных гранульных загрузок с плотностью меньшей плотности воды открыло новые перспективы в совершенствовании и интенсификации работы зернистых фильтров. Плавающая загрузка в работе не имеет непосредственного контакта с нижней дренажной системой сбора и отвода промывной вод. Это позволяет отказаться от применения в корпусах фильтров дренажа большого сопротивления и специальных промывных насосов, уменьшить материалоемкость сборно-распределительных систем и рационально использовать весь располагаемый напор над коллектором отвода промывной воды.

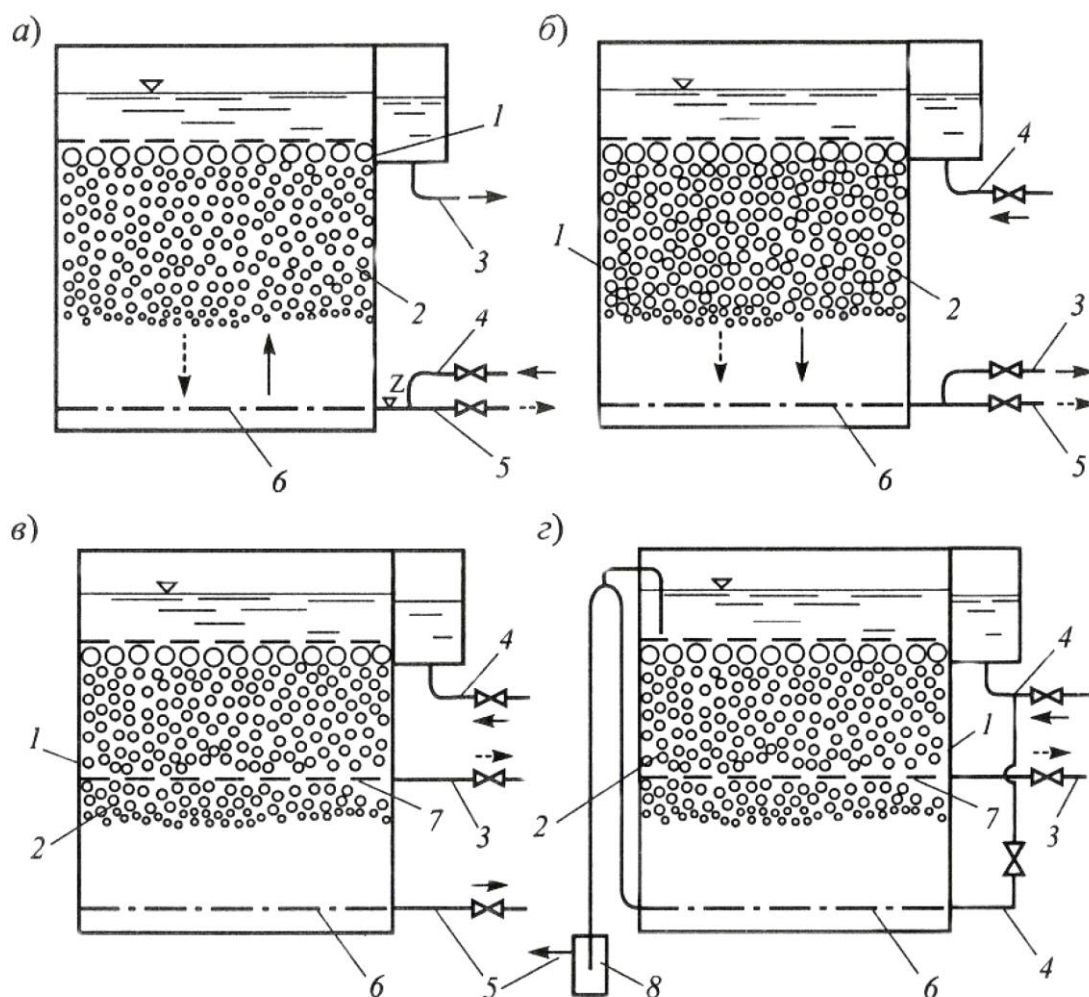


Рис. 2.39. Конструкции ФПЗ-1 (а), ФПЗ-3 (б), ФПЗ-4 (в), АФПЗ-5м (г):

1 – корпус; 2 – фильтрующая загрузка; 3 – отвод фильтрата; 4 – подача исходной воды; 5 – отвод промывной воды; 6 – нижняя дренажная система (НДС); 7 – средняя дренажная система (СДС), 8 – система гидроавтоматической промывки

Расходы на доставку пенополистирольной загрузки к объектам сокращается в 15...25 раз по сравнению с тяжелыми загрузками; так как из 1 т исходного сырья на месте применения можно получить более 15 м³ плавающей загрузки. В отличие от промывки тяжелых фильтрующих материалов, вектор силы тяжести, задержанных в порах загрузки загрязнений, совпадает с вектором движения промывного потока, поскольку промывка плавающей загрузки осуществляется сверху вниз водой из надфильтрового пространства, повышая эффективность отмывки загрузки и сокращая ее продолжительность.

К категории плавающих фильтрующих зернистых загрузок относятся полимерные гранулы или зерна с замкнуто-ячеистыми порами диаметром 0,5...6,0 мм, а также полимерные волокна с плотностью меньшей плотности воды, способные пребывать в затопленном водой состоянии неограниченное время. Наиболее приемлемыми для практики являются вспененные гранулы полистирола марок ПСВ и ПСВ-С, а также их модификации. В качестве плавающих загрузок могут применяться и гранулированный стеклопор,

дробленые пенополиуретан и пенопропилен, фторопласт, капрон, полиэтилен и другие легкие полимерные материалы.

Наиболее экономичными и простыми в эксплуатации являются фильтры с восходящим фильтрационным потоком и относительно однородной пенополистирольной загрузкой (ФПЗ-1) с диаметром гранул рабочего слоя 0,7-1,5 мм и поддерживающим верхним слоем, состоящим из гранул диаметром 2,5-6,0 мм.

Напорные фильтры АКХ серийно выпускает наша промышленность тех же пяти диаметров, что и обычных напорных фильтров. Для улучшения условий промывки предусмотрен подвод в фильтры сжатого воздуха, который равномерно распределяется с помощью распределительной системы, расположенной в загрузке непосредственно над нижним дренажем. Фильтры не имеют поддерживающих слоев, вследствие чего нижний дренаж выполняют в виде ряда распределительных труб с щелевыми колпачками.

Выпускают также *горизонтальные напорные фильтры АКХ*, близкие по конструктивному оформлению к фильтрам системы А. Г. Туганова, но с двухпоточным фильтрованием – снизу и сверху. Фильтры имеют диаметр 3 м, высоту нижнего слоя – 1,08 м, верхнего – 0,5 м, длину 10...16 м, площадь фильтрования ~30 м².

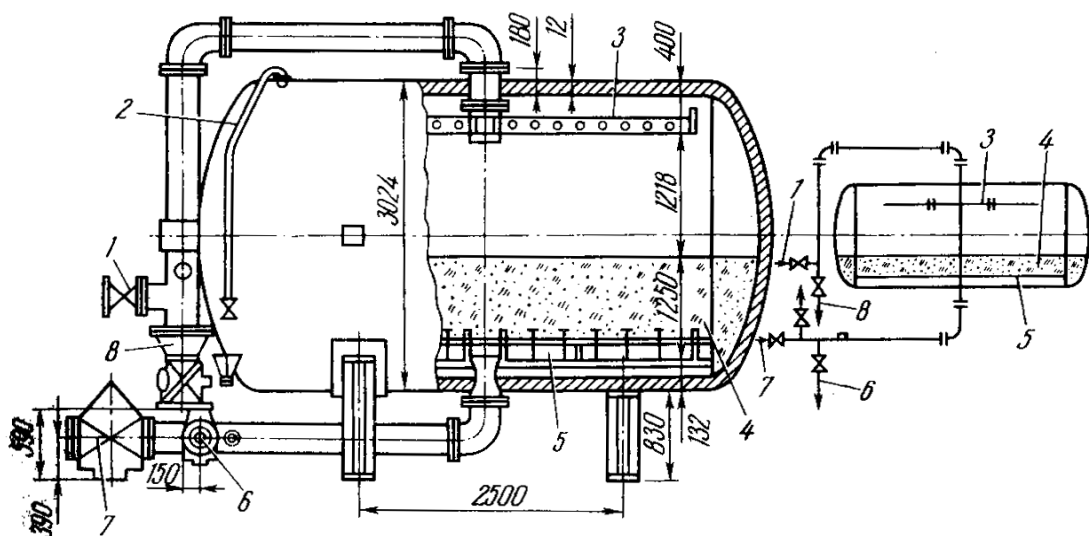


Рис. 2.40. Горизонтальный напорный фильтр системы А.Г. Туганова:

1, 6 – подача исходной воды и отвод фильтрата; 2 – воздушник; 3, 5 – водораспределительная и дренажная система; 4 – фильтрующая загрузка; 7, 8 – подача и отвод промывной воды

Более простыми являются *фильтры с двухслойной загрузкой*. В конструктивном отношении они не отличаются от обычных скорых фильтров, и двухслойная загрузка может быть применена в обычном скором фильтре без какой-либо дополнительной конструктивной переделки.

При подготовке питательной воды ТЭС применяют фильтры АКХ с загрузкой из *термоантрацита*, который получают путем термической обработки антрацита, без доступа воздуха в шахтных печах при температуре

свыше 1000 °С. В этих условиях антрацит лишается влаги, летучих и части пиритной серы; одновременно возрастает плотность антрацита (до 1,8) и его механическая прочность.

В схемах технического водоснабжения значительное распространение получили *каркасно-засыпные фильтры и напорные сверхскоростные осветлительные фильтры системы Г. Н. Никифорова.*

Каркасно-засыпные фильтры имеют загрузку в виде каркаса из гравия или щебня толщиной 2 м и засыпки из песка (керамзита, антрацита, шлака) толщиной 1 м, заполняющей часть порового пространства. Скорость фильтрования до 20 м/ч. Промывка водовоздушная. Фильтры системы Г.Н.Никифорова фильтруют воду со скоростью до 100 м/ч. Фильтр представляет собой цилиндрический корпус с круглой камерой внутри. Пространство между этими цилиндрами разделено вертикальными перегородками на восемь отсеков – фильтров с песчано-гравийной загрузкой. В работе находятся семь отсеков, а один – на промывке. Продолжительность фильтроцикла в каждом отсеке не превышает одного-двух часов. Учитывая, что производительность фильтра лимитируется его размерами и при диаметре 3 м не превышает 150 м³/ч, Г.Н. Никифоров предложил батарейный тип сверхскоростных напорных фильтров с автоматической системой промывки. Все фильтры, входящие в блок, связаны единым гидравлическим режимом.

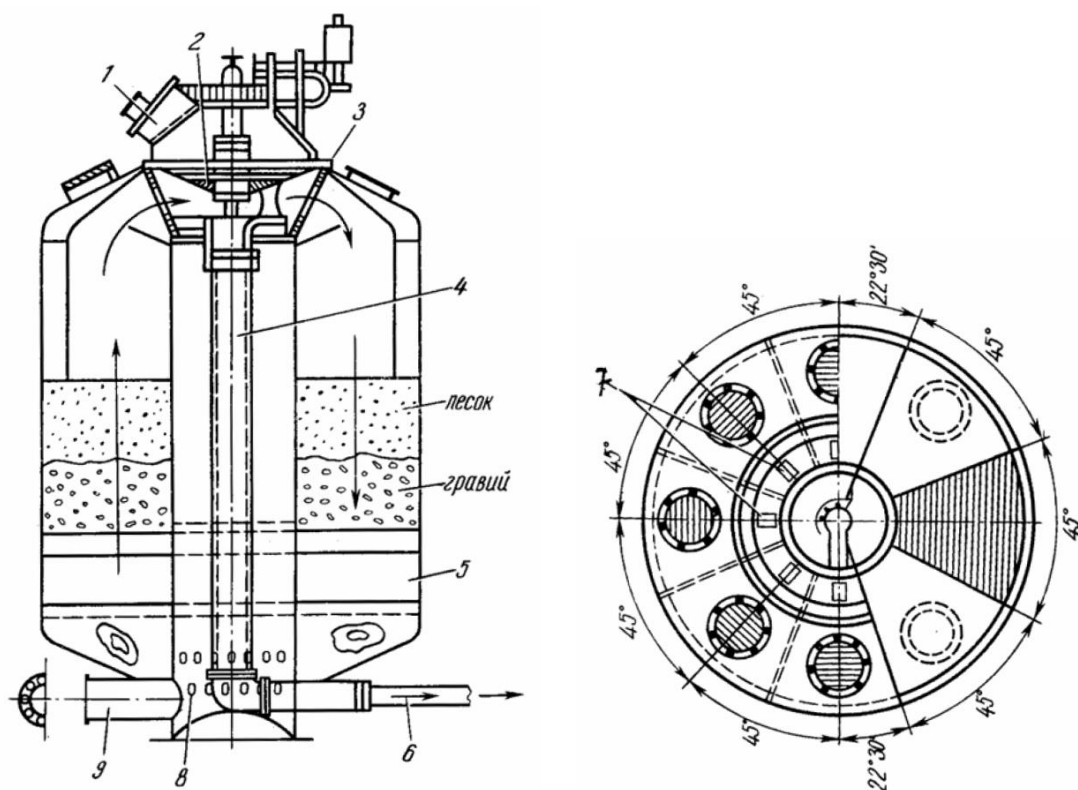


Рис. 2.41. Схема сверхскоростного фильтра конструкции Г.Н. Никифорова:
5 – поддон; 2 – распределительное устройство; 3 – вращающийся патрубок; 6, 5 – отвод и подача промывной воды через поддон 5; 4 – центральный стояк; 7 – щели подачи исходной воды; 1, 9 – подача исходной и отвод фильтрованной воды; 8 – отверстия для сбора фильтрата

В водоподготовке также применяются напорные скорые фильтры. Серийно выпускаются напорные вертикальные фильтры восьми типоразмеров (диаметром от 1-3,4 м). Высота фильтрующей загрузки в фильтрах всех размеров принята 1,2 м. Подача осветленной воды и отвод промывной осуществляется через центрально расположенную воронку, обращенную широким концом кверху, или кольцевой перфорированный трубопровод. Фильтр не имеет поддерживающих слоев, и фильтрующий материал располагается непосредственно на колпачковом или щелевом дренаже. Промывка загрузки предусмотрена водовоздушная, для чего фильтр снабжен специальной распределительной системой для подачи во время промывки сжатого воздуха. Эта распределительная система располагается в фильтрующей загрузке фильтра. Загрузка фильтра производится через верхний лаз. Для гидравлической выгрузки фильтрующей загрузки предусмотрен специальный разгрузочный штуцер.

Наибольший диаметр напорного фильтра из условий удобства перевозки железнодорожным транспортом принят 3,4 м, фильтрующая площадь такого фильтра составляет 7,1 м². Поэтому при значительной производительности водоочистной установки приходится принимать большое число фильтров и арматуры, в связи с чем удорожается строительство и усложняется эксплуатация фильтров. Число фильтров может быть сокращено примерно в четыре раза при установке горизонтальных напорных фильтров, площадь фильтрования которых составляет 28-30 м², или вертикальных двух- или трехкамерных фильтров.

Фильтры с крупнозернистой загрузкой для частичного осветления воды конструктивно аналогичны обычным скорым фильтрам. Фильтрующая загрузка однослойна. Для песка крупность зерен принимается 1...2 или 1,6...2,5 мм соответственно, высота фильтрующего слоя 1,5...2,0 и 2,5...3 м, скорость фильтрования 10...12 и 13...15 м/ч. Режим промывки следующий: взрыхление загрузки воздухом 15...25 л/(с·м²) в течение 1 мин, водовоздушная промывка 3,5...5 л/(с·м²) воды и 15...25 л/(с·м²) воздуха в течение 5 мин, отмывка водой 7,1...9 л/(с·м²) в течение 3 мин.

2.8. Контактные осветлители и контактные фильтры

Разновидностью фильтровальных аппаратов являются контактные осветлители, работающие по принципу фильтрования воды снизу вверх в направлении убывающей крупности зерен фильтрующей загрузки большой толщины.

При водообработке на контактных осветлителях (КО) коагулянт вводят в воду непосредственно перед ее поступлением в загрузку аппаратов, процесс коагуляции происходит в ее толще. За короткий промежуток времени от момента введения коагулянта до начала фильтрования в воде могут

образоваться лишь микроагрегаты коагулирующих частиц. Дальнейшая агломерация примесей происходит не в свободном объеме воды, а на зернах загрузки КО; частицы адсорбируются на поверхности зерен, образуя отложения характерной для геля сетчатой структуры. Такой процесс является контактной коагуляцией, что обуславливается контактом воды, содержащей коагулированные примеси, с поверхностью зерен контактной массы.

Как показали исследования и практика, процесс контактной коагуляции идет с большей полнотой и во много раз быстрее, чем конвективной коагуляции в объеме; доза коагулянта, как правило, меньше, чем доза, необходимая для коагулирования примесей в свободном объеме. Для протекания процесса контактной коагуляции необходимо ввести в воду такую дозу коагулянта, при которой частицы примесей теряют свою агрегативную устойчивость в отношении прилипания к поверхности зерен контактной массы. Такие дозы обычно недостаточны для того, чтобы обеспечить быстрое хлопьеобразование в свободном объеме с получением тяжелых, хорошо декантирующих хлопьев. Кроме того, при контактной коагуляции на процессе почти не влияют температура воды и ее анионный состав, наличие грубодисперсных взвесей и ее щелочность. Отпадает необходимость в перемешивании воды для обеспечения протекания ортокинетической фазы коагулирования примесей. Однако быстрота и равномерность распределения коагулянта в обрабатываемой воде имеют решающее значение.

Благодаря этому в условиях обработки маломутных цветных вод КО весьма удачно заменяют обычную двухступенчатую очистку воды, обеспечивая высокий эффект осветления и обесцвечивания при одновременном снижении стоимости строительства и эксплуатации очистных сооружений. На водоочистных комплексах с КО необходимо предусматривать барабанные сита или микрофильтры и (вертикальный) смеситель для воздухоотделения и смешения реагентов с водой. Микрофильтры и барабанные сита располагают обычно над смесителем или входной камерой.

При использовании контактных осветлителей основная масса примесей воды задерживается в нижних – крупнозернистых слоях, характеризующихся большой грязеемкостью, что уменьшает темп прироста потери напора. Снижение темпа прироста потери напора и увеличение продолжительности защитного действия загрузки вследствие большой высоты слоя позволяет очищать на КО воду с содержанием взвеси, значительно превышающим обычно допустимое для скорых фильтров. Скорые фильтры могут работать нормально, если содержание взвеси в поступающей на них воде составляет 5-15 мг/л. Контактные же осветлители работают нормально при содержании взвеси в очищаемой воде до 70 мг/л и ее цветности до 70 град. ПКШ.

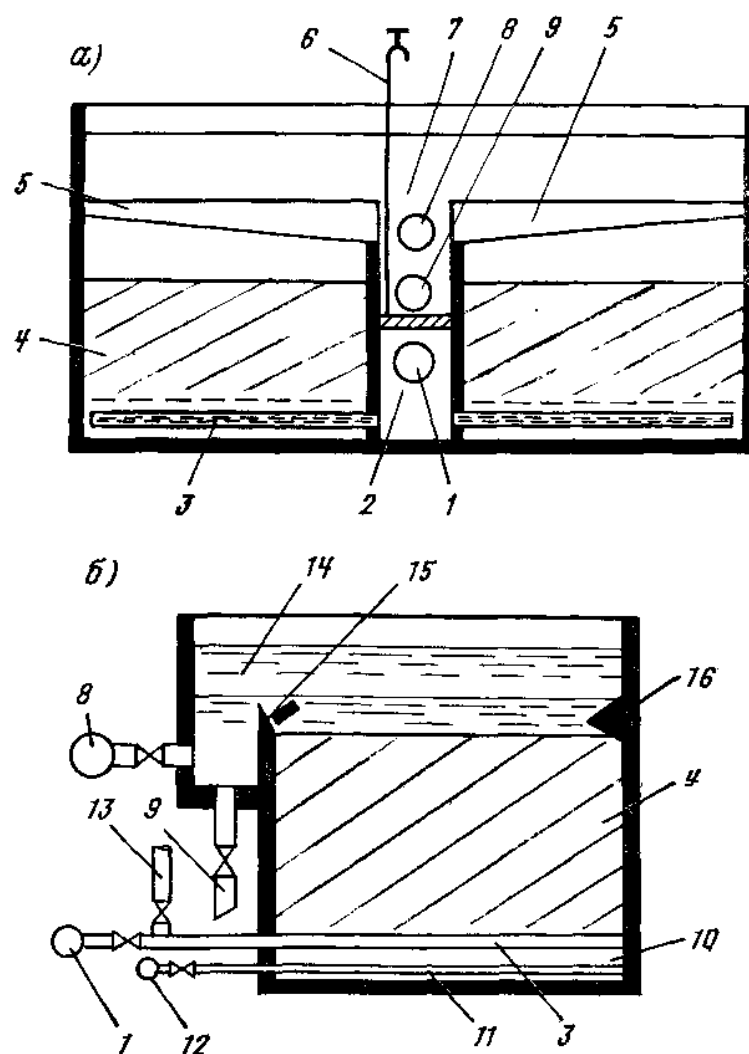


Рис. 2.42. Контактные осветлители КО-1 (а) и КО-3 (б):

1 – подача исходной воды; 2, 7 – нижнее и верхнее отделения центрального канала; 3 – водораспределительная система; 4 – слой песка; 5 – водосборный желоб; 8 – отвод фильтрата; 9 – отвод промывной воды; 10 – слой гравия; 11 – воздухораспределительная система; 12 – подача воздуха на промывку; 13 – подача промывной воды; 14 – боковой карман; 15 – пескоулавливающий желоб; 16 – струенаправляющий выступ

Распределительная система контактного осветлителя трубчатая, большого сопротивления, с поддерживающими слоями или без них.

Контактные осветлители рекомендуется использовать без поддерживающих слоев при промывке водой и с поддерживающими слоями при водовоздушной промывке. Разработаны три модели КО. Осветлитель КО-1 представляет собой резервуар, заполненный загрузкой из песка и гравия. Песок не должен содержать фракции крупнее 2 мм и мельче 0,7 мм. Средний диаметр песка 0,9...1 мм, $d_{эжв} = 1...1,3$ мм, толщина слоя песка около 2 м. Гравийные слои располагают под песчаной загрузкой на дне контактного осветлителя, они имеют общую толщину 0,6-0,8 м. Рекомендуемая высота и крупность песчаных и гравийных слоев приведены в СП 31.13330.2012. Расчетную скорость фильтрования для КО-1 принимают 4,0...5,5 м/ч. Очищаемую воду

предварительно смешивают с коагулянтom и вводят в загрузку с помощью распределительной системы из дырчатых труб, уложенных на дне в слое мелкого гравия (2-10 мм). Распределительная система служит и для подачи промывной воды. Промывку с интенсивностью 15-18 л/(с·м²) в течение 7-8 мин производят так же, как и обычных скорых фильтров. Осветленная вода, как и промывная, отводится с помощью желобов, расположенных над песком.

В безгравийных КО-1, промываемых водой, устраивают безгравийную трубчатую распределительную систему с приваренными вдоль дырчатых труб боковыми шторками, между которыми приваривают поперечные перегородки, разделяющие подтрубное пространства на ячейки. КО-3 с поддерживающими слоями и водовоздушной промывкой имеет трубчатые распределительные системы для подачи воды и воздуха и систему горизонтального отвода промывной воды.

2.9. Обеззараживание воды

На заключительном этапе очистки воды для хозяйственно-питьевых нужд производится её обеззараживание с целью уничтожения возможных патогенных бактерий и вирусов и улучшения санитарного состояния сооружений на предварительном этапе очистки.

Наиболее опасными для человека являются следующие водные патогенные организмы:

вирусы (Adenovirusos, Enteroviruses, энтеровирусы гепатита А, Б, Е, Rotavirus, мелкие круглые вирусы, поливирусы, Influenza, Echoviruses, Coxiackie);

бактерии (патогенны Escherichia Coli, Salmonella typhi, Vibrio cholerae, Yersinia enterocolitica, Pseudomonas aeruginosa, Aeromonas spp, Legionella pneumophila);

простейшие агенты (Giardia lamblia, Giardia muris, Cryptosporidium parvum, Entamoeba histolytica, Dracunculus medinensis spp).

2.9.1. Химический метод обеззараживания воды

В технологии водоподготовки известен ряд методов обеззараживания: термический, химический, озонирование (с помощью благородных металлов), физический (с помощью ультразвука, радиоактивного излучения, ультрафиолетовых лучей). Наиболее широко используется химический способ, предусматривающий применение сильных окислителей: хлора и его производных, озона, перекиси водорода, марганцевокислого калия, гипохлорита натрия и кальция. На практике предпочитают использовать хлор, хлорную известь, гипохлорит натрия и кальция, озон, диоксид хлора.

Процесс обеззараживания воды сильными окислителями проходит в две ступени – сначала обеззараживающий агент диффундирует через оболочку внутрь клетки микроорганизма, а затем вступает в реакцию с ферментами клетки.

Скорость процесса обеззараживания воды определяется кинетикой диффузии обеззараживающего реагента внутрь клетки и кинетикой отмирания клеток в результате нарушения метаболизма, наступающего вследствие окисления или отравления ферментов обеззараживающими агентами.

Общая скорость процесса обеззараживания возрастает с увеличением концентрации обеззараживающего реагента в воде, повышением ее температуры и переходом обеззараживающего агента в недиссоциированную форму, поскольку диффузия вещества через оболочку клетки происходит быстрее, чем гидратированных ионов, образующихся при диссоциации данного вещества в воде.

Таблица 2.3

Технологические характеристики хлорсодержащих реагентов

Реагент	ГОСТ, ТУ	Химическая формула	Содержание активного хлора, %
Хлор жидкий	ГОСТ 6718-93	Cl_2	99,8% – высший сорт 99,6% – I сорт
Натрий гипохлорит	ТУ 243281	NaOCl	90 г/л – марка А 60 г/л – марка Б
Кальций гипохлорит нейтральный	ГОСТ 2563-82Е	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	72,0 – высший сорт 64,0 – I сорт 52,0 – II сорт

Выбор метода зависит от расхода и качества обрабатываемой воды, эффективности её очистки, условий поставки и хранения реагентов, возможности автоматизации и механизации трудоёмких работ.

Хлорирование воды является надежным санитарно-гигиеническим приёмом предотвращения распространения эпидемий, так как большинство патогенных бактерий (бациллы брюшного тифа, туберкулёза и дизентерии, вибрионы холеры, вирусы полиомиелита и энцефалита и др.) весьма нестойки по отношению к хлору. Спорообразующих бактерий хлор не уничтожает, что является одним из недостатков этого метода обеззараживания.

Дозу активного хлора для обеззараживания устанавливают на основании данных технологических изысканий. При их отсутствии для предварительных расчётов принимают для поверхностных вод после фильтрования 2-3 мг/л, для подземных – 0,7-1,0 мг/л.

Хлорсодержащие реагенты вводят в трубопровод фильтрованной воды, а для подземных вод, не требующих очистки – перед резервуарами чистой воды. Концентрация остаточного свободного хлора в воде, забираемой из резервуара чистой воды, должна быть в пределах 0,3-0,5 мг/л, а связанного хлора – 0,8-1,2 мг/л при минимальной продолжительности контакта соответственно 30 и 60 мин. Для качественного хлорирования необходимо также хорошее перемешивание.

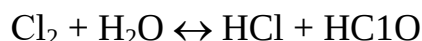
Хлорирование воды осуществляют жидким (газообразным) хлором. На водоочистных комплексах с расходом до 3000 м³/сут допускается применение хлорной извести.

При плюсовых температурах и атмосферном давлении хлор представляет собой газ зеленовато – жёлтого цвета с удушливым запахом и плотностью, значительно большей, чем плотность воздуха. При повышении давления хлор переходит в жидкое состояние; в таком виде его перевозят и хранят в специальных стальных ёмкостях (при давлении 0,6-1,0 МПа). Хлор поставляется в баллонах двух типов вместимостью до 25-30 кг и 100 кг жидкого хлора. На крупных водоочистных комплексах производительностью более 100 тыс. м³/сут хлор доставляют обычно в железнодорожных цистернах вместимостью до 48 т жидкого хлора, а хранят его в бочках, которые в зависимости от размеров вмещают от 700 до 3000 кг жидкого хлора. Хлорное

хозяйство должно обеспечивать приём, хранение, испарение жидкого хлора, дозирование газообразного хлора с получением хлорной воды.

Хлорное хозяйство располагают в отдельном помещении, где сблокированы расходный склад хлора, испарительная и хлордозаторная. Расходный склад хлора можно размещать в отдельных зданиях или вплотную к хлораторной, отделяя его глухой стеной без проёмов.

Гидролиз хлора происходит по реакции:



Хлорноватистая кислота диссоциирует в зависимости от pH с образованием гипохлоритного иона (OCl^-), при этом окисляющее воздействие на микроорганизмы оказывает как сама хлорноватистая кислота, так и главным образом гипохлоритный ион. Степень диссоциации хлорноватистой кислоты зависит от pH:

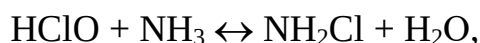
pH	4	5	6	7	8	9	10	11
OCl^-	0,05	0,5	2,5	21,0	75,0	97,0	99,5	99,9
HOCl	99,95	99,5	97,5	79,0	25,0	3,0	0,5	0,1

При использовании вместо хлора хлорной извести протекает реакция:

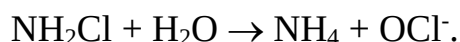


Доза вводимого хлора должна быть больше величины хлоропоглощаемости на величину остаточного хлора, присутствие которого является гарантией того, что окислация бактерий и органических веществ в воде практически завершена.

Для обеспечения более длительного бактерицидного действия хлора и для предотвращения появления в воде хлорфенольных запахов и привкусов применяют предварительную аммонизацию, т. е. вводят аммиак в воду раньше хлора. При этом образуются монохлорамины:



которые, гидролизуясь, образуют гипохлоритный ион



Гидролиз хлораминов протекает медленно, и длительность бактерицидного действия увеличивается, хотя окисляющая способность хлораминов ниже, чем хлора. Аммиак хранят на расходном складе в баллонах или контейнерах. Ввод аммиака производят в фильтрат, при наличии фенолов – за 2-3 мин до ввода хлора.

Для ввода в воду хлора, аммиака и сернистого газа (при дехлорировании) применяют вакуумные газодозаторы системы ЛОНИИ-100, Л.А. Кульского АХВ-1000 и другие.

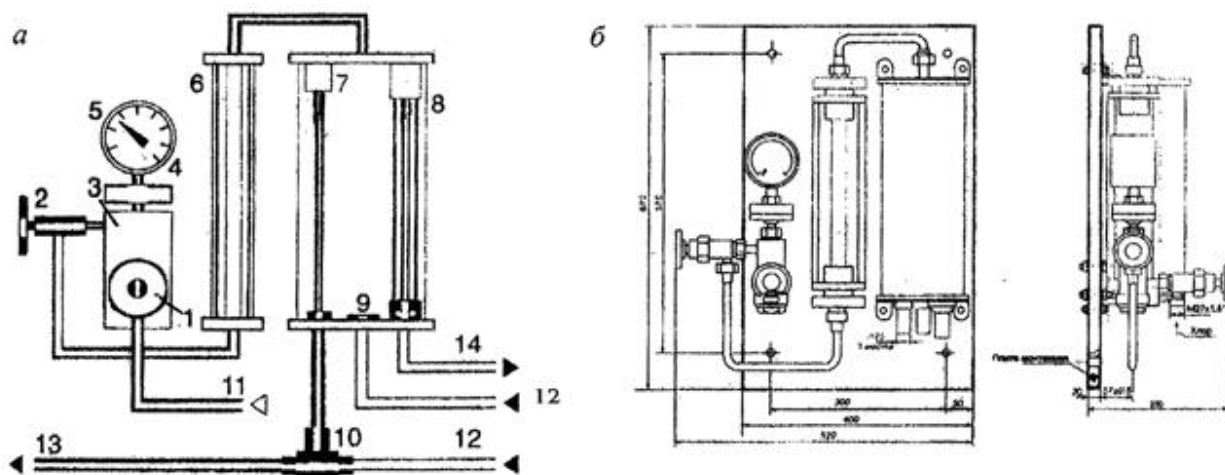


Рис. 2.54. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) хлоратора АХВ-1000 специализированного предприятия КРАВТ:

1 – кран запорный; 2 – кран регулирующий; 3 – фильтр; 4 – камера мембранная; 5 – манометр; 6 – ротаметр; 7 – рефлекс; 8 – смеситель; 9 – клапан; 10 – эжектор; 11 – ввод хлора; 12 – подача нехлорированной воды; 13 – хлорированная воды; 14 – дренаж

Из исходных баллонов жидкий хлор перетекает в промежуточный баллон, где происходит его испарение и отделение загрязнений. Далее газообразный хлор проходит через фильтр со стекловатой и затем через понижающий давление редуктор. Степень понижения давления фиксируется двумя манометрами, установленными до и после редукционного клапана. С помощью диафрагмы создаётся перепад давления, который служит импульсом для работы измерителя расхода хлора. Затем хлор поступает в смеситель, смешивается с водопроводной водой, образуя хлорную воду, которая подсасывается эжектором и таким образом дозируется в обрабатываемую воду.

С одного стандартного баллона при комнатной температуре можно получить не более 0,5-0,7 кг хлор-газа. Для увеличения съёма хлора прибегают к специальному обогреву баллонов тёплой водой или подогретым воздухом при температуре 10-30 °С.

Кроме жидкого хлора используют также хлораторные установки с товарным и электролизным гипохлоритом натрия, диоксидом хлора и гипохлоритом кальция (на станциях любой производительности).

Характеристики товарного гипохлорита натрия марки А согласно требованиям ГОСТ 11086-76 приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Характеристики товарного гипохлорита натрия марки А

№ п/п	Параметр	Значение
1	агрегатное состояние при 20 °С и 1 атм	жидкость зеленовато-желтого цвета
2	плотность	1260 – 1270 кг/м ³
3	температура плавления	6 °С
4	температура начала замерзания	10 – 12 °С
5	температура кристаллизации	20 – 30 °С

Температура замерзания растворов гипохлорита натрия зависит от содержания активного хлора, хлорида натрия и щелочи.

Гипохлорит натрия неограниченно растворяется в воде. При хранении, особенно при действии света и повышенной температуре (выше 35 °С), разлагается с образованием хлоратов и выделением кислорода.

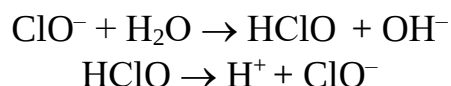
Гипохлорит натрия – малоустойчивое вещество и при хранении подвержен саморазложению. Механизм саморазложения определяется формами активного хлора, которые присутствуют в растворе и определяются значением рН раствора. Наиболее устойчивы растворы гипохлорита натрия при рН > 11.

На стабильность растворов гипохлорита натрия существенное влияние оказывает также наличие в растворе различных металлов, при этом наиболее значительное негативное влияние оказывает железо, поэтому необходимо при входном контроле проверять этот показатель.

Гипохлорит натрия поставляется в канистрах, еврокубах, авто- и ж/д цистернах.

В области рН выше 10, единственной формой активного хлора является гипохлорит-ион. При значениях рН в области от 4 до 10 в растворе появляется недиссоциированная хлорноватистая кислота, ее доля меняется от 100% при значениях рН в области 4÷5 до 0 при значениях рН в области 10. При значениях рН меньше 2 основной формой активного хлора является молекулярный хлор.

При введении гипохлорита в воду образуется хлорноватистая кислота и гипохлоритный ион в соотношениях, определяемых рН воды. Соотношение между гипохлорит-ионом и хлорноватистой кислотой определяется протеканием реакций гидролиза гипохлорита натрия и диссоциации хлорноватистой кислоты:



Бактерицидность снижается с повышением значений рН воды, при котором происходит увеличение количества недиссоциированной хлорноватистой кислоты.

Если сопоставить количество убитых в заданное время бактерий при неизменной дозе хлора, но при различном значении рН воды, с изменением количества недиссоциированной хлорноватистой кислоты, то можно отметить очень хорошую корреляцию между этими величинами. Это показывает, что хлорноватистая кислота является главным бактерицидным соединением хлора в воде.

Таким образом, дезинфицирующее действие гипохлорита натрия основывается на смещении рН при разбавлении раствора обрабатываемой водой в область, где основной формой существования активного хлора является хлорноватистая кислота.

Хлорноватистая кислота из-за своих малых размеров (по сравнению с гидратированными ионами солей) сравнительно легко проникает через оболочку бактериальной клетки и, воздействуя на клеточные ферменты, нарушает обмен веществ и способность к размножению микробов. Исследования показали, что бактерицидный эффект зависит именно от угнетения ферментов, являющихся катализаторами окислительно-восстановительных процессов, обеспечивающими бактериальную клетку энергией.

Принципиальная схема получения электролизного гипохлорита натрия предусматривает использование рафинированной (99,8 %) поваренной соли в виде первоначального рассола концентрацией 200-310 г/л, разбавленного перед электролизерами умягченной подогретой технической водой до солевого раствора 20-40 г/л. Вариантом является использование артезианской минерализованной воды с концентрацией поваренной соли не менее 2 г/л с жесткостью менее 7 мг-экв/л. Установки работают в периодическом или проточном режимах.

Дехлорирование воды, т.е. удаление при необходимости избытка остаточного хлора, можно осуществлять: при небольшом избытке - аэрированием, при большом - химическими методами (обработка воды гипосульфитом или сульфитом натрия, аммиаком), фильтрацией через активированный или сульфоуголь.

При хлорировании воды в результате взаимодействия хлора с органическими веществами образуются канцерогенные **летучие хлорорганические соединения** (ЛХС) в основном относящиеся к группе тригалогенметанов (ТГМ). Основные концентрации ЛХС образуются при введении первичного хлора в неочищенную воду. Процесс образования ЛХС сложный и продолжительный во времени, существенное влияние на него оказывает содержание в обрабатываемой воде органических примесей, время контакта воды с хлором, доза последнего и рН воды. ЛХС не задерживаются на сооружениях традиционного типа, максимальное их количество наблюдается в резервуарах чистой воды. Известны два возможных направления уменьшения содержания ЛХС в питьевой воде: предотвращение их формирования при водоподготовке и извлечение на заключительных этапах обработки воды. Когда ЛХС присутствуют в исходной воде следует применять методы их удаления,

при отсутствии ЛХС в исходной воде – методы, предотвращающие их образование в процессе водоподготовки. В первом случае применяется аэрация и сорбция на активных углях. Во втором случае стараются либо снизить содержание органических загрязнений в водоисточнике, либо снизить образование ЛХС в процессе водообработки. Для этого снижают дозы хлора при первичном хлорировании, заменяют жидкий хлор на реагенты с меньшим потенциалом образования ЛХС – гипохлорит натрия или диоксид хлора, используют хлорирование с преаммонизацией. Радикальное решение проблемы образования ЛХС – это внедрение технологии озono-сорбции при соответствующем технико-экономическом обосновании. На московских станциях водоподготовки применяется как сезонное первичное озонирование (Восточная станция водоподготовки), озонсорбция (Рублевская и Западная станции водоподготовки), так и хлорирование с преаммонизацией.

Воду можно обеззараживать и с помощью гипохлорита натрия, получаемого электролитическим способом (в электролизерах) на месте применения путём разложения раствора поваренной соли постоянным электрическим током.

Одним из наиболее перспективных способов обеззараживания питьевых вод на водоочистных комплексах с суточным расходом хлора до 50 кг является использование гипохлорита натрия NaClO , получаемого на месте потребления путем электролиза растворов поваренной соли или минерализованных вод, содержащих не менее 20 мг/л хлоридов (например, установка «Поток»). Электрохимический способ получения гипохлорита натрия основан на получении хлора и его взаимодействии со щелочью в одном и том же аппарате – электролизере.

В настоящее время в нашей стране серийно выпускается *унифицированный ряд непроточных электролизных установок типа ЭН* производительностью от 1 до 100 кг активного хлора в сутки. Для небольших водоочистных установок рекомендуются электролизеры ВИЭСХ (0,1...0,2 кг/сут. хлора), а также электролизеры ЭН-1 и ЭН-5 производительностью 1 и 5 кг активного хлора в сутки. При необходимости можно осуществлять централизованное получение гипохлорита натрия на одном из пунктов с последующей доставкой его к отдельным потребителям. В этом случае могут применяться установки ЭН-25 или ЭН-100 производительностью 25 и 100 кг активного хлора в сутки. Количество электролизеров должно быть не более трех, из которых один резервный.

Электролизеры рекомендуется устанавливать в отдельном помещении. Допускается совместное расположение в одном помещении электролизера и бака-накопителя гипохлорита натрия. Раствор гипохлорита натрия должен поступать в бак-накопитель самотеком.

Обеззараживание воды на установках производительностью до 5 тыс. м³/сут может быть достигнуто *прямым ее электролизом* при исходном содержании хлоридов не менее 20 мг/л и жесткости до 7 мг-экв/л. По Г.Л. Медришу, процесс протекает в два этапа: электрохимическое получение

окислителей и их смешивание с обеззараживаемой водой. Одним из основных факторов прямого электролиза является вид применяемого анода, оптимальны платино-титановые аноды (ПТА) и окисно-рутениевые аноды (ОРТА).

Получение раствора оксидантов или газообразного хлора в промышленных масштабах из раствора хлорида натрия на месте применения реализовано в установках АКВАХЛОР, разработанных В.М. Бахиром (рис. 2.44). Обеззараживающий реагент представляет собой раствор смеси оксидантов: водных раствор хлора, хлорноватистая кислота, диоксид хлора, озон, гидропероксидные оксиданты. В установках реализован новый процесс электрохимического разложения солевого раствора – ионселективный электролиз с диафрагмой.



Рис. 2.44. Установка АКВАХЛОР-3000.

Раствор оксидантов функционально является аналогом хлорной воды и предназначен для обеззараживания воды по известной технологии применения хлорной воды с использованием всех без исключения методов и средств контроля процесса обеззараживания. Блочно-модульное исполнение установок позволяет создавать системы любой производительности в производственных помещениях различной конфигурации. Безопасность подобных установок заключается в том, что отсутствует свободный объем хлора; весь произведенный хлор растворяется в воде вместе с другими продуктами

анодного окисления раствора хлорида натрия – озоном, пероксидом водорода, диоксидом хлора, образуя раствор оксидантов, обеззараживающая активность которого гораздо выше, чем газообразного хлора и во много раз выше, чем гипохлорита натрия.

Установки АКВАХЛОР характеризуются следующими возможностями:

- степень конверсии соли составляет 99,5 %;
- на 1 кг оксидантов в эквиваленте молекулярного хлора расходуется не более 1,8 кг соли и не более 3,0 кВт×ч электроэнергии,
- реализована автоматическая безреагентная очистка электрохимических реакторов,
- реализовано автоматическое поддержание заданной концентрации оксидантов в обеззараживаемой воде.

Перспективно развитие обеззараживающих методов, основанных на применении *диоксида хлора*. Применяемые дозы диоксида хлора значительно ниже, чем необходимые дозы хлора. Поэтому исчезает хлорный запах и привкус, запах диоксида хлора больше напоминает запах озона.

Диоксид хлора не образует хлорфенолы и хлорамины – источник неприятных запахов, а напротив деодорирует воду, улучшает органолептические свойства воды, в случае если исходная вода имеет проблемы с запахом и привкусом.

Обеззараживающее действие диоксида хлора не зависит от величины pH, в отличие от хлора, эффективность которого сильно снижается при высоких значениях pH.

Несмотря на все положительные свойства диоксида хлора, при его использовании в воде образуются вредоносные хлорат- и хлорит-ионы, содержание которых должно быть не более 0,2 мг/л. За счёт хлорит-ионов вода имеет «металлический» привкус и в ней образуется метгемоглобин. Чтобы понизить концентрацию хлорат- и хлорит-ионов, применяют стандартные подходы по снижению хлор-органических соединений.

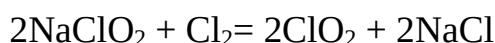
Учитывая особенности физических и физико-химических свойств (диоксид хлора взрывоопасен при повышенных концентрациях и не может сжижаться, храниться и перевозиться), он готовится только в форме водных растворов на месте использования с применением специального аппаратного оформления.

Основные способы получения диоксида хлора:

- взаимодействие хлорита натрия с соляной кислотой:



- взаимодействие хлорита натрия с молекулярным хлором, (гипохлоритом натрия, хлорноватистой кислотой). Реакция проводится путем введения газообразного хлора в раствор хлорита натрия в условиях вакуума:



– взаимодействие хлората натрия с серной кислотой и перекисью водорода:



Для снижения содержания хлоритов при подготовке питьевой воды с использованием диоксида хлора в мировой практике дополнительно с диоксидом хлора используют другие дезинфектанты (хлор, озон). Такое решение применяется в установках по производству диоксида хлора из хлор-газа и хлорита натрия, позволяющих подмешивать хлор в готовый раствор диоксида хлора. В России предприятием ФГУП «УНИХИМ с ОЗ» разработана установка «ДХ-100» по производству комбинированного дезинфектанта «диоксид хлора – хлор» из хлората натрия, серной кислоты и поваренной соли.

Существует несколько способов хлорирования воды, которые применяются в зависимости от задач, стоящих перед водоочисткой.

1. Хлорирование нормальными дозами.

Доза хлора устанавливается экспериментально по сумме величин хлорпоглощаемости и нормы остаточного хлора путем проведения опытного хлорирования. Хлорирование нормальными дозами является наиболее часто применяемым методом на водопроводных станциях. Минимальное время контакта воды с хлором при хлорировании составляет летом не менее 30 минут, зимой – 1 часа.

2. Гиперхлорирование – хлорирование избыточными дозами хлорсодержащими соединениями, заведомо превышающими хлорпотребность воды. Применяется в неблагоприятной эпидемиологической обстановке, в полевых условиях, при невозможности обеспечить достаточное время контакта с хлором. По истечении необходимого времени контакта избыточное количество остаточного хлора удаляют путем дехлорирования воды тиосульфатом натрия или фильтрацией через активированный уголь.

3. Хлорирование с преаммонизацией

Этот метод применяется в случае обнаружения в воде поверхностных водоисточников фенолов. При взаимодействии хлора с фенолом образуются стабильные хлорфенольные соединения, придающие воде резкий аптечный запах и привкус, что делает воду непригодной для питья. При хлорировании с преаммонизацией в воду вначале вносится аммиак, образующий амины, а затем хлор, вступающий в реакцию с аминами с образованием хлорамина, который и оказывает бактерицидное действие. Образующиеся хлорамины не взаимодействуют с фенолами из-за более низкого окислительно-восстановительного потенциала.

Наиболее лучшим соотношением аммиака и хлора считается 1:4, при котором образуется монохлорамин, наиболее эффективно предотвращающий появление запаха. Уже образовавшийся запах аммонизация не устраняет.

4. Двойное хлорирование.

Хлор подается в воду первый раз в смеситель перед отстойниками, а второй – после фильтров. Хлор перед отстойниками ослабляет защитные свойства коллоидов, облегчая процесс коагуляции, и позволяет уменьшить дозу коагулянта. Кроме того, он подавляет рост бактерий в сооружениях.

Эффект подавления бактериальной жизни при хлорировании зависит от дозы введенного хлора и продолжительности контакта его с водой. Поэтому хлоропоглощаемость одной и той же воды, равная суммарному расходу хлора на окисление микроорганизмов, органических и неорганических примесей, – величина переменная, зависящая от дозы введенного хлора, продолжительности контакта, величины рН, температуры воды и др. (рис. 2.45). Очевидно, что доза вводимого хлора должна быть больше величины хлоропоглощаемости на величину остаточного хлора, присутствие которого является гарантией того, что окисление бактерий и органических веществ в воде практически завершено. Связь между дозой введенного в воду хлора и содержанием остаточного хлора может иметь прямолинейный характер или ярко выраженный излом (рис. 2.46). Непрямолинейный характер этой зависимости имеет место при наличии в хлорируемой воде аммиака. Первая точка перелома на кривой 2 соответствует образованию монохлорамина NH_2Cl с меньшим, чем у хлора окислительно-восстановительным потенциалом. Вторая переломная точка кривой соответствует моменту окисления образовавшегося монохлорамина избыточным хлором.

Одним из наиболее сильных окислителей, уничтожающих бактерии, споры и вирусы (в частности, вирусы полиомиелита), является *озон*. Несомненным преимуществом озонирования является и то, что при этом одновременно с обеззараживанием происходит обесцвечивание воды, а также ее дезодорация и улучшение вкусовых качеств. Озон не изменяет природные свойства воды, так как его избыток (непрореагировавший озон) через несколько минут превращается в кислород.

Механизм бактерицидного действия озона до настоящего времени остается предметом дискуссии. Одни авторы считают, что озон инактивирует бактериальные ферменты, приводя к нарушению обменных процессов и гибели микробной клетки. Другие предполагают, что под действием озона происходят значительные изменения структуры и морфологии бактерий, а также необратимые изменения в бактериальной ДНК.

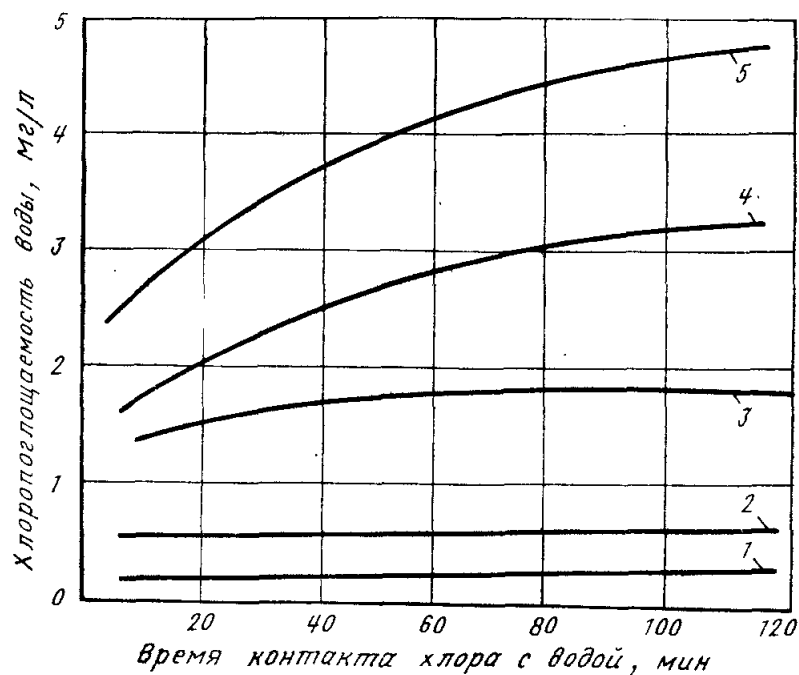


Рис. 2.45. Зависимость хлоропоглощаемости от времени контакта хлора с водой: дозы хлора, мг/л: 1 – 0,5; 2 – 0,75; 3 – 2,0; 4 – 4,0; 5 – 20,0.

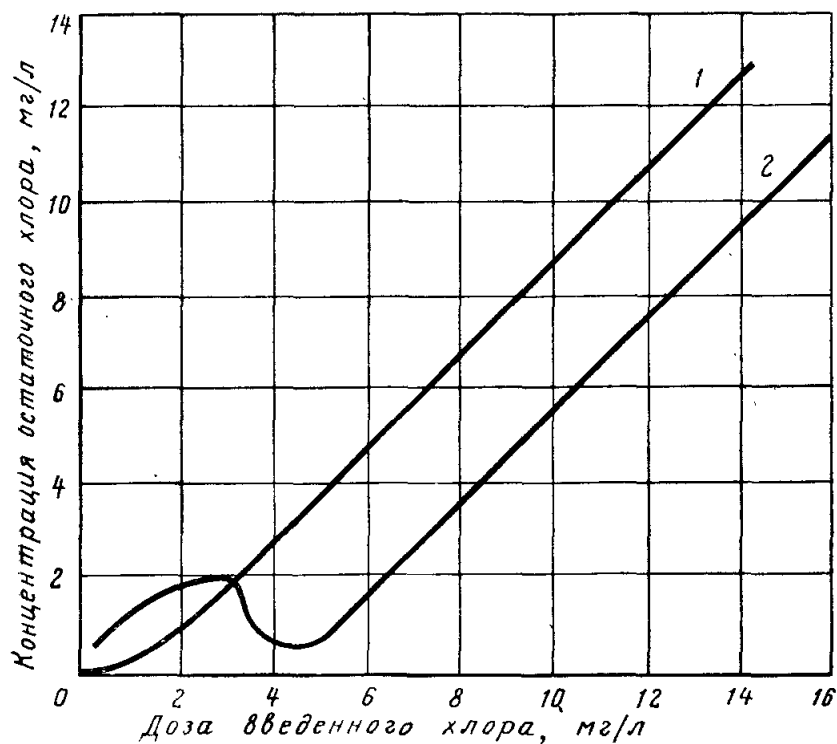


Рис. 2.46. Зависимость остаточного хлора от дозы введенного в воду при отсутствии (1) и при наличии (2) в ней аммонийных солей

Озон O_3 , используемый для озонирования, получают из атмосферного воздуха в аппаратах, называемых озонаторами, в результате воздействия на него «тихого» электрического заряда, сопровождающегося выделением озона. Общая схема установки по озонированию показана на рис. 2.47. Генератор озона представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат (вариант) с

вмонтированными в него из нержавеющей стали трубками по типу теплообменника. Внутри каждой стальной трубы помещена стеклянная трубка с небольшой (2...3 мм) кольцевой воздушной прослойкой, являющейся разрядным пространством. Внутренняя поверхность стеклянных трубок покрыта графитомедным (или алюминиевым) покрытием. Стальные трубы являются одним из электродов, а покрытия на внутренних стенках стеклянных трубок – другим. К стальным трубам подводят электрический постоянный ток напряжением 8...10 кВ, а покрытия на стеклянных трубках заземляют. При прохождении электрического тока через разрядное пространство происходит *разряд коронного типа*, в результате которого образуется озон. Предварительно осушенный и очищенный воздух проходит через кольцевое пространство и таким образом озонируется, т.е. образуется озono-воздушная смесь. Стеклянные трубки являются диэлектрическим барьером, благодаря чему *разряд получается «тихим»*, т.е. рассеянным без образования искр. При этом до 90% электроэнергии превращается в теплоту, которую отводит от озонатора циркулирующая в межтрубном пространстве аппарата охлаждающая вода.

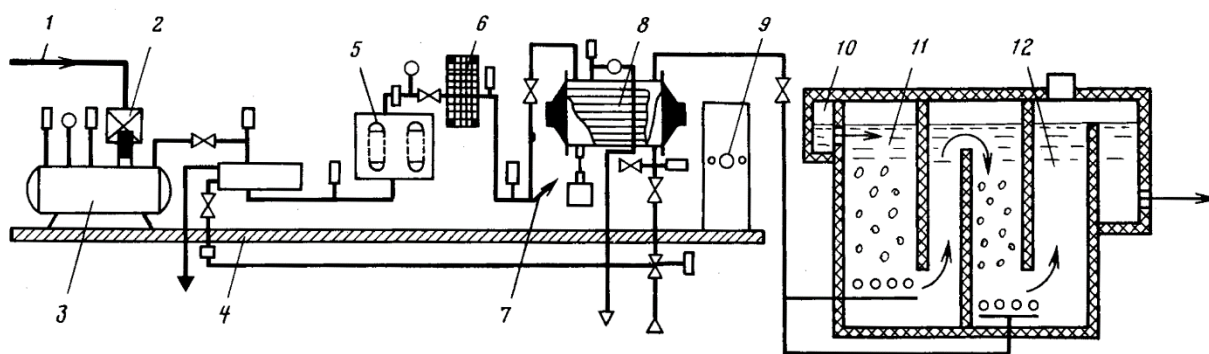


Рис. 2.47. Схема озонаторной установки:

1 – подача воздуха от компрессора; 2 – воздушный фильтр; 3 – теплообменник; 4 – водомаслоотделитель; 5 – влагопоглощающие фильтры; 6 – адсорбер с силикагелем; 7 – тканевый фильтр; 8 – озонатор; 9 – блок автоматики; 10, 12 – подача и отвод обрабатываемой воды; 11 – контактная камера

Воздух, используемый в озонаторах, должен быть предварительно освобожден от влаги и пыли. Даже следы влаги, попадая в разрядное пространство аппарата, вызывают появление искрового разряда, который значительно снижает показатели работы озонатора – уменьшается выход озона и примерно в 4 раза возрастает расход электроэнергии (по сравнению с подачей сухого воздуха). Кроме того, присутствие следов влаги делает озон весьма агрессивным к деталям озонатора, трубам и арматуре. Для извлечения пыли воздух пропускают через матерчатые фильтры специальных конструкций, а для удаления влаги устанавливают адсорберы, загружаемые обычно силикагелем.

При сушке воздуха выделяется теплота. Чтобы в озонатор не попал слишком теплый воздух, его подвергают охлаждению. С этой целью воздух пропускают через теплообменник либо охлаждают в самом адсорбере путем подачи воды через змеевик, располагаемый непосредственно в силикагеле.

Озон (озоновоздушная смесь) вводят в воду либо через эжекторы (эмульгаторы), либо через сеть пористых труб или распределительных каналов, укладываемых по дну контактного резервуара. Распределительные каналы перекрывают фильтросными пластинами.

Основные типы контактных аппаратов для обработки воды показаны на рис. 2.48. Двухсекционная барботажная контактная камера (рис. 2.48, а) наиболее распространена и применяется как для обеззараживания сточных вод, так и для их глубокой очистки. Озоно-воздушная смесь распыляется фильтросными элементами, которые изготавливаются в виде плоских пластин, труб и разных типов диффузоров, из пористых материалов на основе керамики, металлокерамики и пластмасс. Обычно применяют материалы с размером пор от 50 до 100 мкм, так как более мелкие обладают значительным динамическим сопротивлением и быстро забиваются, а более крупные не обеспечивают достаточную дисперсность газовой фазы.

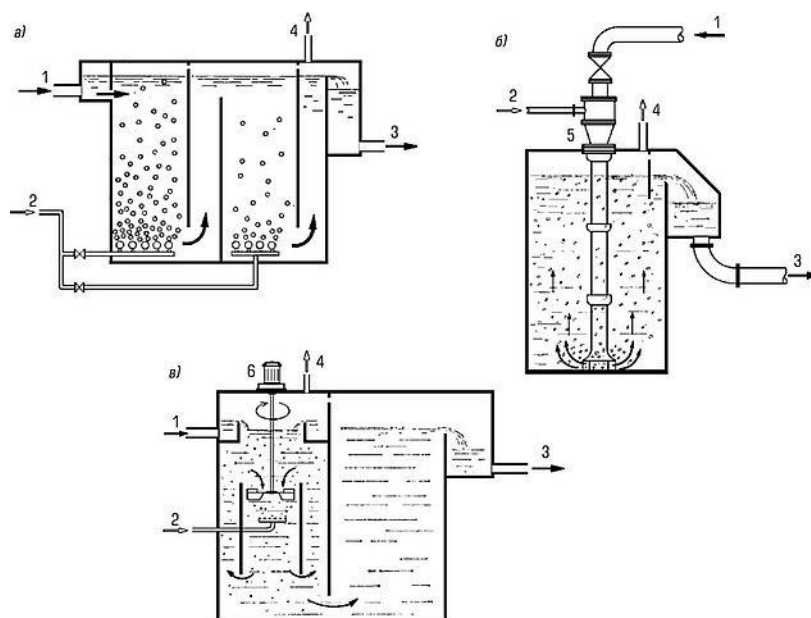


Рис. 2.48. Контактные камеры:

а – двухсекционная барботажная; б – камера, оборудованная инжектором; в – камера, оборудованная импеллером; 1, 3 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – подача озоно-воздушной смеси; 4 – выпуск отработанной озоно-воздушной смеси; 5 – инжектор; 6 – импеллерное устройство

Движение обрабатываемой сточной воды и озоно-воздушной смеси в контактной камере по встречным направлениям обеспечивает большую эффективность озонирования. Барботажные контактные камеры могут быть одно- и многоступенчатыми.

На рис. 2.48, б дан пример контактной камеры с инъекцией озоно-воздушной смеси сточной водой, подаваемой под давлением. Водно-газовая эмульсия вводится инжектором у дна контактного аппарата, откуда поднимается вместе с обрабатываемой водой. Такие установки применяются, как правило, для обработки сточных вод, содержащих легко окисляемые

примеси, при малом времени контакта воды с озоном, и для утилизации не полностью прореагировавшего озона в отработанном газе.

Контактные камеры, оборудованные механическим смесителем-импеллером (рис. 2.48, в), применяются, для небольших расходов воды. Обрабатываемая вода подается в зону всасывания импеллера, который смешивает ее с озонсодержащим газом, эжектируемым под импеллер. Очень тонкая водо-газовая эмульсия проходит в верхнюю часть колонны и снова захватывается импеллером. Этим обеспечиваются многократная рециркуляция потока воды и равномерное распределение газовой фазы по объему реактора. Инжекционные и импеллерные контактные аппараты удобно применять в многоступенчатых схемах озонирования для повторного использования частично отработанной озono-воздушной смеси.

Доза озона зависит от назначения озонирования воды. Если озон вводят только для обеззараживания в фильтрованную воду (после ее предварительного коагулирования), то дозу озона принимают 1...3 мг/л, для подземной воды – 0,75...1 мг/л, при введении озона для обесцвечивания и обеззараживания воды доза озона может достигать до 4 мг/л. Продолжительность контакта обеззараживаемой воды с озоном принимается 5...12 мин.

Скорость разложения озона увеличивается при повышении pH, температуры, и степени минерализации воды (рис. 2.49).

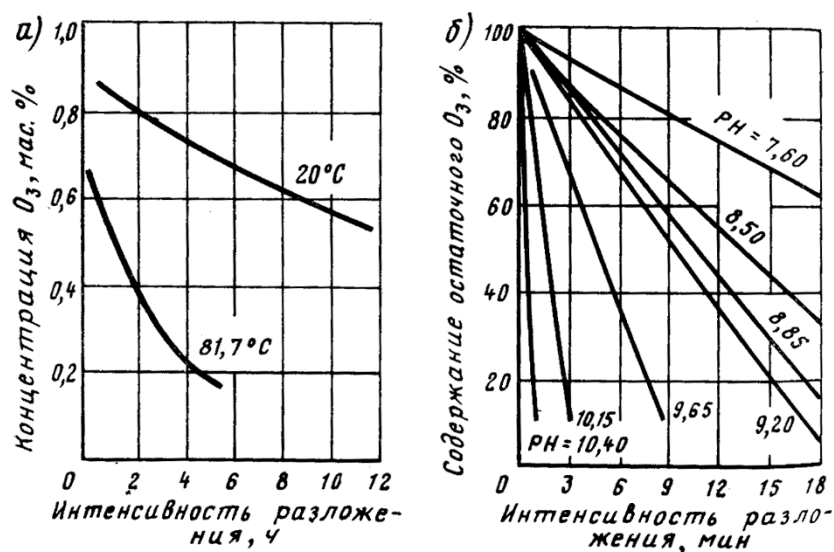


Рис. 2.49. Влияние температуры (а) и величины pH (б) на интенсивность разложения озона

Озон – очень сильный окислитель, его окислительный потенциал 2,06 В. Патогенные микроорганизмы уничтожаются им в 15-20 раз, а споровые формы бактерий – в 300-600 раз быстрее, чем хлором. Механизм обеззараживания воды озоном основан на его способности *инактивировать* сложные органические вещества белковой природы, содержащиеся в животных и растительных организмах.

Чистый озон взрывоопасен, он не взрывается, если его концентрация в озono-воздушной смеси не превышает 10%, т.е. 140 г/м³. Озон токсичен и может поражать органы дыхания. ПДК озона в воздухе помещений, где находятся люди, не более 0,0001 мг/л.

Для обеззараживания воды доза озона изменяется в соответствии с ее температурой и рН, а также содержанием в ней органических веществ.

В ряде случаев озонирование является универсальным методом водообработки, так как кроме обеззараживания воды дезодорируется и разлагаются органические вещества, обуславливающие цветность воды, улучшается процесс коагулирования примесей. Концентрация остаточного озона после выхода воды из контактной камеры должна быть 0,1-0,3 мг/л. Передозировка озона не опасна, так как через короткое время он превращается в кислород.

Отечественная промышленность выпускает низкочастотные (50-200 Гц) озонаторы, работающие на токе промышленной частоты и высокочастотные (400-10000 Гц) более компактные и менее металлоемкие. Завод «Курганхиммаш» серийно выпускает генераторы ОП-6 производительностью по озону до 8 кг/ч, производительность генератора РГО-1 по озону до 10 кг/ч и высокочастотные «Озон-10» также 10 кг/ч, «Озон-1.5» и «Озон-4» – соответственно 1.5 и 4 кг/ч озона (частота 2500 Гц).

Проблема образования побочных продуктов хлорирования при использовании хлор-содержащих реагентов, отсутствие пролонгированного защитного действия у озона и его высокая стоимость заставляют специалистов искать новые химические соединения для дезинфекции воды. Например, в качестве такого соединения в последние годы стал использоваться *полигексаметиленгуанидин гидрохлорид* (ПГМГ) – органический полимер гуанидиновой группы. Препараты на его основе выпускаются под торговыми марками «Дезавид», «Дефлок», «УНИКО» и др.

Первые исследования и синтез вещества в лабораторных условиях были произведены в США в 1940-х годах. В 1946 году гуанидины были впервые применены в качестве антибактериального агента при производстве косметических и фармацевтических кремов, в 1954 году – для антибактериальной обработки продовольственных товаров.

Бактерицидные свойства гуанидиновых веществ обусловлены разрушительным электрохимическим воздействием на оболочку клетки, которая играет роль молекулярного фильтра, защищающего цитоплазматическую мембрану от разрушающих токсинов. Обладая сильными бактерицидными свойствами, гуанидин нашел широкое применение в сфере дезинфекции. На его основе были разработаны медицинские дезинфицирующие средства нового поколения, механизм действия которых принципиально отличается от механизма действия традиционных средств. Бактерицидные свойства традиционных средств обусловлены их мощной окисляющей способностью, разрушительно воздействующей не только на бактериальные клетки, но и на любые контактирующие с ними формы жизни, среды и

материалы. ПГМГ действует эффективней, уничтожая патогенные микроорганизмы, но оставаясь при этом нейтральным к материалам и средам, не вступая с ними в химические взаимодействия. Такой механизм действия в сочетании с низкой токсичностью, отсутствием запаха, ингаляционной безопасностью, высокой эффективностью и долгим сроком хранения обеспечил популярность полигуанидиновых средств в сфере дезинфекции.

Препарат «Дезавид» основан на ПГМГ с добавлением четвертичного аммонийного соединения (ЧАС) – алкилдиметилбензиламмоний хлорида, которое обеспечило мощный синергетический эффект, позволивший повысить бактерицидную активность реагента при значительном снижении содержания активных веществ. Необходимость добавления ЧАС вызвана тем, что использование ПГМГ в чистом виде для обеззараживания питьевой и сточных вод в России в настоящее время невозможно, так как действующие дозировки в десятки раз превышают по действующему и природоохранному законодательству.

Полигексаметиленгуанидин гидрохлорид вместе с алкилдиметилбензиламмоний хлоридами, помимо бактерицидного действия обладает сильным флокулятивным эффектом. Важной особенностью этого реагента является его пролонгированное действие – он сохраняется в окружающей среде около 15 суток, не теряя своего бактерицидного действия. По параметрам острой токсичности «Дезавид» относится к 4 классу мало опасных веществ, пожаро- и взрывобезопасен.

Рекомендованная доза для обеззараживания питьевой воды составляет 4–10 мг/л и зависит от технологии очистки и обеззараживания. Время контакта составляет не менее 30 мин.

В России «Дезавид» широко используется для дезинфекции различного оборудования, емкостей, а также в плавательных бассейнах. Самое масштабное внедрение ПГМГ для обеззараживания питьевой воды было осуществлено в 2010 году в г. Черповец и сразу вызвало бурную реакцию населения и специалистов и породило множество дискуссий. В частности, к опасным свойствам Дезавида и аналогичных препаратов относят образование токсичного соединения при взаимодействии с этиловым спиртом, низкую эффективность при безопасных концентрациях и высокую устойчивость в окружающей среде, которая при попадании ПГМГ в организм человека перестает быть преимуществом дезинфектанта. Однозначного решения о безопасности ПГМГ при обеззараживании питьевой воды среди специалистов на сегодняшний день не существует, при том, что реагенты имеют все необходимые сертификаты и гигиенические заключения.

2.9.2. Обеззараживание воды бактерицидными лучами (ультрафиолетовое обеззараживание)

Для обеззараживания подземных вод рекомендуется применять бактерицидное излучение при условии, если коли-индекс исходной воды не

более 1000 ед./л, содержание железа до 0,3 мг/л, мутность до 2 мг/л. Обеззараживание воды бактерицидными лучами имеет ряд преимуществ перед хлорированием. Природные вкусовые качества и химические свойства воды не изменяются. Бактерицидное действие лучей протекает во много раз быстрее, чем хлора; после облучения воду сразу можно подавать потребителям. Бактерицидные лучи уничтожают не только вегетативные виды бактерий, но и спорообразующие. Эксплуатация установок для обеззараживания воды бактерицидными лучами, проще, чем хлорного хозяйства.

Установлено, что наибольшим бактерицидным действием обладают ультрафиолетовые лучи с длиной волны от 295 до 200 мкм. Эту область ультрафиолетового излучения называют бактерицидной. Максимум бактерицидного действия располагается около длины волны в 260 мкм.

Коэффициент поглощения существенно зависит от состава воды и для различных источников водоснабжения меняется в широких пределах. Наибольшее влияние на коэффициент поглощения оказывает цветность воды, ее мутность и содержание железа. Жесткость, хлориды, сульфаты, аммиак, нитриты и нитраты в обычных концентрациях практически не влияют на поглощение бактерицидной радиации.

При обеззараживании бактерицидными лучами неочищенных мутных, цветных вод или вод с повышенным содержанием железа коэффициент поглощения оказывается настолько большим, что бактерицидный метод становится экономически нецелесообразным, а с санитарной точки зрения – ненадежным. Поэтому применение бактерицидных лучей рекомендуется только для обеззараживания воды, прошедшей очистку, или для подземных вод, не требующих очистки, но нуждающихся в обеззараживании в профилактических целях.

Микроорганизмы, находящиеся в воде, имеют различную степень сопротивляемости действию бактерицидных лучей и значение коэффициента k зависит от вида бактерий. Коэффициент сопротивляемости различных видов *вегетативных* и *патогенных бактерий коли*, равного приблизительно 2500, что и принимают при расчетах необходимого количества бактерицидной энергии для обеззараживания.

Наиболее распространенными источниками бактерицидного излучения являются *ртутно-кварцевые лампы высокого давления ПРК* и *аргонртутные лампы низкого давления РКС-2.5*.

Ртутно-кварцевые лампы высокого давления (примерно 0,05...0,1 МПа) с температурой оболочки при горении лампы до 250...300°C являются мощными источниками видимого света и ультрафиолетовых лучей с максимумом излучения линий 365,0...3666,3 мкм.

Несколько типов установок для обеззараживания воды бактерицидными лучами были разработаны в НИИ КВОВ Академии коммунального хозяйства: ОВ-1П, ОВ-АКХ-1 двухкамерная, ОВ-АКХ-1 трехкамерная, ОВ-1П-РКС, ОВ-3П-РКС.

Безнапорная установка ОВ-3П-РКС (рис. 2.50) рассчитана на расход 3000 м³/ч и более. Она размещается в канале в виде рам-кассет, на которых закреплены блоки с лампами РКС-2,5. В кассеты монтируются несколько ламп, защищенных кварцевыми цилиндрическими чехлами. Чтобы обеспечить турбулентный режим потока воды и хорошее перемешивание в канале во время облучения, лампы располагают в шахматном порядке. При таком размещении ламп обеспечивается высокий коэффициент использования бактерицидного потока. Канал, оборудованный кассетами, сверху перекрыт съемными крышками. Рядом с каналом располагается пульт управления с пусковой аппаратурой к лампам.

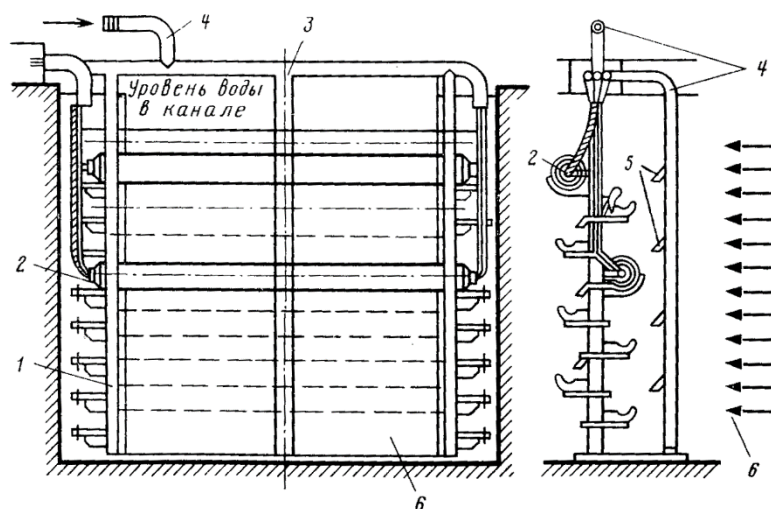


Рис. 2.50. Бактерицидная установка ОВ-3П-РКС:

1 – металлическая рама с кронштейнами; 2 – блоки с бактерицидными лампами РКС-2,5; 3 – металлические пластины; 4 – трубопровод напорной воды для отмычки чехлов; 5 – промывные сопла; 6 – канал подачи обрабатываемой воды

Опыт эксплуатации установок для обеззараживания воды бактерицидными лучами показывает, что этот метод обеспечивает надежную дезинфекцию воды. Эксплуатационные расходы на обеззараживание воды облучением не превышают эксплуатационных затрат на хлорирование, а на водопроводах, использующих в качестве источников водоснабжения подземные, родниковые или подрусловые воды, обеззараживание воды облучением дешевле в 2-3 раза по сравнению со стоимостью обеззараживания воды путем хлорирования.

Расход электрической энергии на обеззараживание воды из подземных источников водоснабжения облучением не превышает 10...15 Вт·ч/м³. Расход электрической энергии на облучение воды из открытых источников водоснабжения, прошедший обработку на водоочистных сооружениях, составляет до 30 Вт·ч/м³.

Недостатком рассматриваемого метода обеззараживания является отсутствие оперативного способа контроля за эффектом обеззараживания (в отличие от хлорирования – по остаточному хлору). Кроме того, метод облучения непригоден для обеззараживания мутных вод.



Рис. 2.51. Внешний вид бактерицидных установок.



Рис. 2.52. Внешний вид бактерицидных установок «Лазурь-М».

Компанией ЗАО «Сварог» разработаны бактерицидные установки для обеззараживания воды и сточных вод ультрафиолетом с применением ультразвука серии «Лазурь-М» (рис. 2.52). Комбинирование ультрафиолетового облучения и ультразвукового воздействия позволяет достичь значения показателя по облученности микрофлоры более 40 мДж/см^2 , что обеспечивает высокую степень дезинфекции практически всех видов микроорганизмов. Ультразвуковой излучатель, помещенный внутри камеры ультрафиолетовой обработки, работает как стиральная машина, тщательно отмывающая поверхности корпуса и защитного кварцевого кожуха ультрафиолетового излучателя, что предотвращает их биообрастание и соляризацию. Таким образом, бактерицидные установки для обеззараживания воды ультрафиолетом с применением ультразвука не требуют механической очистки и химической промывки.

2.10. Дезодорация воды

2.10.1. Привкусы и запахи воды

Одной из актуальных проблем последних десятилетий в области водоподготовки является необходимость *дезодорации питьевой воды*. Ухудшение вкусовых качеств природных вод обусловлено их минеральным и органическим составом. Нежелательные привкусы и запахи вызываются неорганическими соединениями и органическими веществами естественного и искусственного происхождения.

Несмотря на принятые законодательные меры все еще наблюдается сброс промышленных сточных вод в поверхностные водоемы, что приводит к их загрязнению минеральными и органическими соединениями. Среди них *соли тяжелых металлов, нефть и нефтепродукты, синтетические алифатические спирты, полифенолы, кислоты, пестициды, СПАВ* и др.

Особую опасность представляют *пестициды*, относящиеся к разным классам органических соединений и находящихся в воде в различных состояниях. Они оказывают отрицательное действие на органолептические свойства воды. *Токсичность пестицидов, присутствующих в воде, возрастает в процессе обработки ее хлором или перманганатом калия.*

Нефть и нефтепродукты плохо растворимы в воде и очень устойчивы к биохимическому окислению. Большие концентрации нефти придают воде сильный запах, повышают ее цветность и окисляемость, снижают содержание растворенного кислорода. При небольшом содержании нефти в воде ее органолептические показатели заметно ухудшаются.

Попадая в воду с бытовыми и промышленными стоками *СПАВ* резко ухудшают ее качество, появляются *устойчивые запахи (мыльный, керосиновый, канифольный)* и *горьковатые привкусы*. Как правило, СПАВ усиливают стабильность запахов других примесей, катализируют токсичность находящихся в воде канцерогенных веществ, пестицидов, анилина и др.

Присутствующие в природных водах Севера и средней полосы России *гуминовые кислоты и фульвокислоты, лигнины* и многие другие органические соединения естественного происхождения служат одним из источников образования фенолов, которые ухудшают их органолептические свойства. *При хлорировании воды, содержащей фенолы, образуются диоксины* – чрезвычайно ядовитые вещества (смертельные дозы: *стрихнин* – $1,5 \cdot 10^{-6}$; *ботулин* – $3,3 \cdot 10^{-17}$, *нервнопаралитический газ* – $1,6 \cdot 10^{-5}$ моль/кг).

Иногда *органолептические свойства воды ухудшаются* при передозировке реагентов или в результате неправильной эксплуатации водоочистных сооружений. Так, при обесцвечивании воды коагулированием без последующей стабилизации возрастает коррозионная активность воды и вследствие этого ухудшаются ее органолептические показатели. *При хлорировании воды наблюдается ухудшение ее органолептических показателей* как при нарушении

режима процесса, так и в результате образования хлорорганических соединений, вызывающих неприятные привкусы и запахи.

Запахи и привкусы, вызываемые органическими веществами, отличаются большой стойкостью. Обычно их извлекают путем окисдации и сорбции.

Вещества, обладающие сильными восстановительными свойствами (гумусовые кислоты, соли железа (II), дубильные вещества, сероводород, нитриты, поли- и одноатомные фенолы и т.п.) хорошо извлекаются из воды путем окисдации. Более устойчивые соединения (карбоновые кислоты, алифатические спирты, углеводороды нефти и нефтепродукты и т.п.) в условиях обработки хлором и его производными, а иногда и озоном окисляются плохо. Иногда сильные окислители, воздействуя на эти вещества, значительно усиливают первоначальные привкусы и запахи (например, фосфоорганические пестициды). Вместе с тем действие окислителей на легкоокисляемые соединения приводит к их полной деструкции, либо к образованию веществ, не влияющих на органолептические показатели воды. Таким образом, действие окислителей эффективно лишь по отношению к ограниченному числу загрязнений.

Таблица 2.5

Классификация методов	Название метода	Глубина очистки	Область назначения, применения
Окислительные методы	Аэрация Озон Перманганат калия Хлорирование	До 100%	Питьевое водоснабжение. Удаление привкусов и запахов.
Сорбционные методы	Обработка активным углем. Углеродные волокнистые материалы. Неуглеродные сорбенты.	90-99%	Снижение окисляемости
Окислительно-сорбционные методы	Озонсорбция	До 100%	Удаление органических веществ (летучих органических соединений хлорсодержащих).
Мембранные методы	Ультрафильтрация. Нанофильтрация. Обратный осмос.	50-70% 70-80% 80-90%	Снижение цветности, снижение окисляемости, глубокое снижение окисляемости
Ионообменные методы	Органопоглотители (скавенджеры)	До 99%	Опреснение и обессоливание воды методом ионного обмена:

			предочистка перед анионитовыми фильтрами
--	--	--	---

Недостатком окислительного метода является также необходимость дозирования окислителя в исключительно точном соответствии с уровнем и видом загрязнения воды, что крайне затруднительно, принимая во внимание сложность и длительность многих химических анализов.

Более надежным и экономичным является применение *фильтров с гранулированным активным углем*, используемым в качестве фильтрующей загрузки. Фильтры, загруженные гранулированным активным углем независимо от колебания уровня загрязнения воды, являются постоянно действующим барьером по отношению к сорбируемым веществам. Однако, серьезным затруднением для применения этого метода очистки воды является сравнительно малая поглощающая способность угля, что вызывает необходимость частой его замены или регенерации.

В условиях повышенного антропогенного загрязнения водоемов для дезодорации воды, удаления токсичных микрозагрязнений необходимо сочетать методы окисдации, сорбции и аэрации.

Методы удаления органических веществ показаны в табл. 2.5.

2.10.2. Дезодорация воды аэрацией

Для удаления из природных вод летучих органических соединений биологического происхождения, вызывающих запахи и привкусы, широко применяют их *аэрирование*.

На практике аэрирование проводят в *специальных установках – аэраторах барботажного, разбрызгивающего и каскадного типов*.

В *аэраторах барботажного типа* воздух, подаваемый воздуходувками, распределяется в воде дырчатыми трубами, подвешенными в резервуаре (рис. 2.53), распылительными устройствами, расположенными на его дне. Преимущество первого способа заключается в простоте демонтажа установки.

Барботажные установки открытого типа могут работать при температуре ниже 0 °С. Степень аэрирования легко регулируется изменением количества подаваемого воздуха. Стоимость установок и их эксплуатации невысока.

В *разбрызгивающих аэраторах* вода распыляется соплами на мелкие капли, при этом увеличивается поверхность ее контакта с воздухом. Основным фактором, определяющим работу аэратора, 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.

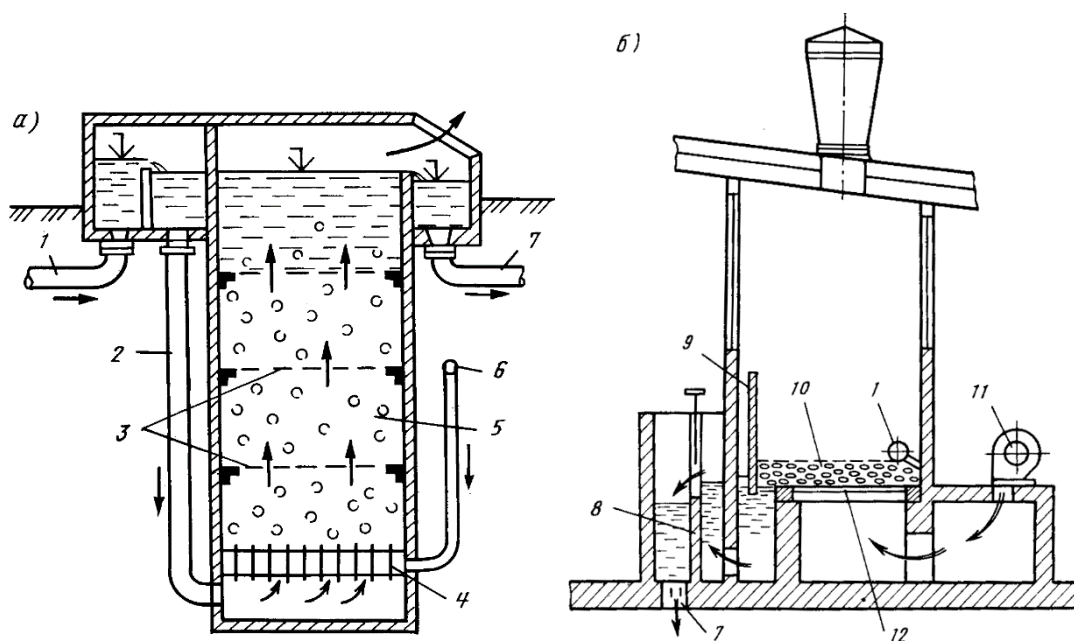


Рис. 2.53. Аэратор барботажного типа (а) и инка-аэратор (б):
 6 – магистральный воздухопровод; 2 – ввод воды в барботажную камеру 5; 3 – дырчатые пластины;
 4 – воздухораспределитель; 7, 1 – отвод аэрированной и подача исходной воды; 8 – водослив; 9 –
 стабилизационная перегородка; 10 – слой пены; 11 – вентилятор; 12 – дырчатое дно; 5 –
 барботажная камера.

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-аэраторе (рис. 2.53, б) представляющем собой бетонный резервуар, на дне которого находится перфорированная пластина из нержавеющей стали. Вода равномерно распределяется по пластине распределительной трубой. Для стабилизации слоя пены применяется специальная перегородка. Аэрируют воду воздухом, подаваемым вентилятором. Вода, пройдя инкааэратор, выпускается через водослив.

2.10.3. Удаление из воды привкусов и запахов с помощью окислителей.

Окислители (озон, перманганат калия, и его производные) применяют в практике очистки питьевой воды для обеззараживания и улучшения ее органолептических показателей. В последние годы в связи с возросшим загрязнением водоемов органическими соединениями за счет смыва с

сельскохозяйственных угодий значение окислителей в практике очистки питьевой воды существенно возросло, так как многие химические вещества, присутствующие в воде, разрушаются в той или иной степени под действием окислителей. Образующиеся продукты трансформации могут значительно отличаться от исходных веществ – загрязнителей не только по своей химической структуре и физико-химическим свойствам, но и по токсичности.

Озон является наиболее сильным из всех известных в настоящее время окислителей. Одним из его преимуществ с гигиенической точки зрения является неспособность в отличие от хлора к реакциям замещения, о которых указывалось выше. Особенностью озона является то, что он быстро разлагается.

С одной стороны, это вызывает некоторые технические трудности, а с другой – создает определенные преимущества, так как даже при некотором передозировании остаточные количества его не могут быть велики, не требуется его устранения. Как показали исследования, остаточный озон в количестве 3,5...5,0 мг/л в течение 30 мин. снижался до 0,2...0,3 мг/л. Вводить излишне большие дозы озона при обработке питьевой воды не рекомендуется, поскольку после нее вода может приобретать неприятный ароматический запах. Благодаря высокому окислительному потенциалу озон окисляет вещества, обуславливающие привкусы и запахи, которые обычно не окисляются другими реагентами. Длительность контакта озона с водой не превышает 10-15 мин.; дополнительные соединения при этом не образуются. 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.

Перманганат калия является менее сильным окислителем, чем озон, он не вступает в реакции замещения. К недостаткам перманганата калия следует отнести его сравнительно высокую стоимость, дефицитность, а также опасность появления остаточных концентраций, поскольку марганец нормируется в питьевой воде до 0,1 мг/л.

Приготовление раствора перманганата калия концентрацией 0,5...2% (по товарному продукту) осуществляют в баках с механическим побуждением, рассчитываемых на время полного растворения реагента 4...6 ч при температуре воды 20°C и 2...3 ч при 40°C. Количество растворных или растворно-расходных баков принимают не менее двух.

Хлор – наиболее дешевый и распространенный из указанных выше окислителей, но значительно слабее. Недостатком хлора является его способность вступать в реакцию замещения, в результате чего могут образовываться нежелательные соединения.

Небольшие дозы хлора обычно усиливают запахи и привкусы, особенно при наличии в воде фенолов вследствие образования моно-, ди- и трихлорфенолов, обладающих сильным неприятным запахом. Поэтому в данном случае либо увеличивают окислительно-восстановительный потенциал системы «природная вода – хлор», применяя перехлорирование, либо снижают его хлорированием с аммонизацией.

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/л. 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.

Запахи и привкусы, вызываемые наличием в воде некоторых ядохимикатов, эффективно устраняются пероксидом водорода. Например, обработка растворов эптама исходной концентрацией 19 мг/л дозой пероксида водорода 68 мг/л снижает интенсивность запаха примерно в пять раз.

Рассматривая действие окислителей в целом, следует отметить, что в большинстве случаев при их применении наблюдается улучшение органолептических свойств обрабатываемой воды: исчезают запахи и привкусы, снижается или полностью исчезает цветность и окраска, вода перестает пениться. В результате деструктивных процессов образуются менее сложные по химической структуре и, как правило, менее опасные, в том числе и в плане отдаленных последствий действия, вещества – продукты трансформации. Однако необходимо подчеркнуть, что *некоторые химические вещества в обычных условиях практически не поддаются действию окислителей*, даже такого наиболее сильного из них, как озон. К таким веществам, являющимися достаточно распространенными загрязнителями воды поверхностных водоемов, относятся пиридин, бензол и его производные, ряд ароматических нитросоединений, альдегиды, кислоты. Ряд соединений окисляются не полностью, в результате чего могут образоваться продукты, придающие воде запах (фосфорорганические и поверхностно-активные вещества, фенолы) или окраску (нитросоединения, фенолы). При неполном окислении химических веществ, присутствующих в воде, могут появляться и более токсичные соединения, как, например, при окислении некоторых фосфорорганических пестицидов. В связи с этим можно говорить о существовании «критических» концентраций загрязнений, т.е. таких концентраций, при которых возникает опасность появления в воде недопустимых количеств вредных продуктов взаимодействия. Кроме того,

понятие «критических» концентраций может быть также связано с технико-экономической нецелесообразностью применения высоких доз окислителя. Ориентировочные дозы окислителей можно принимать по табл. 19 СП.

Доза окислителя может дробиться, и он может вводиться в воду по частям перед сооружениями разного типа. Ввод окислителей перед коагулянтом или сорбентом либо одного перед другим должен производиться с определенной экспозицией. При невозможности ее соблюдения следует предусматривать контактные камеры.

Основным условием успешного применения окислителей является глубокое окисление химических веществ, т.е. до стадии образования карбоновых кислот.

Однако, необходимость дозирования окислителей в точном соответствии с уровнем и видом загрязнения воды, а также сложность и длительность химических анализов зачастую не позволяет выдерживать на практике эти условия. Поэтому применение окисления как самостоятельного метода для устранения органических загрязнений из воды может быть допущено только в том случае, если уровень загрязнения колеблется незначительно, не выходит за границы «критической» концентрации и существует уверенность, что в результате окисления не будут образовываться неблагоприятные в органолептическом отношении или опасные для здоровья населения продукты трансформации химических веществ.

2.10.4. Дезодорация воды сорбцией

Для дезодорации воды сорбцией используют гранулированный и порошкообразный активный уголь, активированный антрацит, углеродные волокнистые материалы и неуглеродные адсорбенты (клиноптилолит, цеолиты).

Сорбционный метод дезодорации является значительно более надежным, по сравнению с окислительным, так как он основан не на трансформации органических веществ, а на их извлечении из воды. Из известных сорбентов наиболее эффективны – активные угли. Они хорошо сорбируют фенолы, полициклические ароматические углеводороды, в том числе канцерогенные, большинство нефтепродуктов, хлор- и фосфорорганические пестициды и многие другие органические загрязнения. Однако, и сорбцию на активных углях нельзя рассматривать в качестве универсального средства очистки воды от органических соединений. Так, имеются вещества, которые ими не задерживаются (например, органические амины) или задерживаются плохо (например, синтетические поверхностно-активные вещества).

Активный уголь изготавливают из углеродсодержащих материалов: угля, антрацита, древесины, торфа, полимеров, отходов пищевой, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

Активируют уголь газами (CO_2 , SO_2 , O_2) и солями (K_2CO_3 , ZnCl_2 , K_2S и др.) при температуре 750-1000°C. Чаще других применяют *комбинированный*

парогазовый способ с использованием топочных газов состава $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Неорганические активирующие добавки из угля вымывают.

Размеры частичек гранулированного активного угля составляют 0,7-7,0, порошкообразного – 0,07-0,12 мм. Площадь их поверхности колеблется в пределах 450-1800 м²/г. По способу производства активные угли делятся на дробленые (БАУ, ДАК, КАД) и собственно гранулированные (АГ-3, АГ-М, СКТ).

Активные угли применяют в виде порошка (углевание воды) или в виде гранул в качестве загрузки фильтров. Углевание воды имеет ряд недостатков, которые ограничивают его использование: трудности, связанные с замачиванием и дозированием угля, с необходимостью иметь емкости для контакта его с обрабатываемой главным образом тогда, когда оно должно проводиться эпизодически, кратковременно и в небольших дозах.

Для дозирования угольной пульпы предусматривают замачивание угля в течение 1 ч в баках с механическим или гидравлическим перемешиванием. Угольную пульпу концентрацией до 8% вводят в воду до коагулянта не менее, чем за 10 мин. Дозу угля перед фильтрами принимают до 5 мг/л.

Таблица 2.6

Характеристики активных углей

Марка угля	Объем пор, см ³ /г				Площадь поверхности пор, м ² /г		Крупность основной фракции	Насыпная плотность, ρ, г/дм ³	Прочность (по МИС 60...80%)
	суммарный	микропор	переходных пор	макропор	суммарная	переходных пор			
ОУ-А	2,38	0,26	0,27	1,78	805	138	—	—	—
ОУ-Б	—	0,39	0,21	—	—	138	—	—	—
КАД-молотый	0,42	0,11	—	—	—	64	—	—	—
КАД-иодный	1,00	0,34	0,15	0,51	977	110	2,0...5,0	380...450	60
АГ-2	0,60	0,30	0,05	0,25	—	33	1,5...2,0	600	65...70
АГ-3	0,8...1,06	0,32...0,42	0,12...0,16	0,41...0,52	—	—	1,5...2,8	450	75
АГ-5	0,9...1,06	0,3...0,43	0,17	0,46	—	—	1,0...1,5	450	75
СКТ	0,98	0,51	0,20	0,27	—	108	1,5...2,0	420	65
СКТ-3	0,80	0,46	0,09	0,25	—	—	2,0...3,5	420...470	70
АР-3	0,70	0,33	0,07	0,30	—	48	2,7...5,5	550	65...75
БАУ-МФ	1,50	0,25...0,39	0,08	0,19...0,21	915	50 ... 60	1...5	220...350	—
ДАК	1,1...2,16	0,17	0,04	1,23	300	—	0,5...1,5	230	—
АГМ	1,20...1,45				800	—	2...5	460	72
АГ-ОВ	0,82...1,6				845	—	2...5	455	73
АГС-4У	0,97...1,9				985	—	3...10	461	71
ДАУ-В	2,2				763		2...6	445	80
	1,42								

Более надежным является применение гранулированных активных углей, используемых в качестве фильтрующей загрузки. Фильтры, загруженные гранулированным активным углем независимо от колебания уровня загрязнения воды, служат постоянно действующим барьером по отношению к сорбируемым веществам, если емкость угля не исчерпана.

В табл. 2.6 приведены характеристики активных углей, получивших распространение в технологии улучшения качества воды.

Недостатком применения угольных фильтров является необходимость *регенерации активного угля*, которая может производиться следующими методами: *химическим, термическим и биологическим*. *Химический метод* предусматривает предварительную обработку угля острым паром, а затем щелочью. Метод сложный, трудоемкий и недостаточно эффективный, так как не восстанавливает сорбционную способность материала полностью. *Термический метод* заключается в выжигании адсорбированных органических соединений в специальных печах при температуре 800...900°C.

2.10.5. Окислительно-сорбционный метод обработки воды.

Межрегенерационный период работы гранулированного активного угля может быть резко увеличен, если воду перед фильтрованием через уголь обработать окислителем. Установлено, что при такой обработке воды происходит не простое суммирование двух процессов, а имеет место *эффект окислительно-сорбционного взаимодействия*, который заключается в том, что, с одной стороны, *уголь выступает в качестве катализатора окисления*, значительно повышая глубину и скорость этого процесса, а с другой – *многие продукты окисления лучше сорбируются на угле*. Кроме того, применение двух методов всегда надежнее и позволяет значительно расширить диапазон удаляемых из воды органических загрязнений. Практика показала, что совместное применение окислителей и активного угля имеет также и экономическое преимущество.

В зависимости от качества обрабатываемой воды, состава и типов очистных сооружений могут быть различные технические решения использования окислительно-сорбционного метода очистки воды. Так, фильтры, загруженные гранулированным активным углем и предназначенные только для очистки воды от органических загрязнений располагают в технологической схеме после осветлительных фильтров.

Окислители, применяемые в настоящее время в водопроводной практике, обладают неодинаковыми с технико-экономической и санитарно-гигиенической точек зрения эффективностью по отношению к химическим загрязнениям воды. Поэтому важным при использовании окислительно-сорбционного метода является выбор типа окислителя. *Хлор целесообразно использовать* в качестве окислителя только в том случае, когда в воде находятся сравнительно легко окисляемые загрязнения, такие, как фенолы, некоторые вещества природного происхождения, придающие воде привкусы и

запахи и т.д. При этом необходимо учитывать, что в условиях совместного применения хлора и активного угля предварительная аммонизация воды, к которой часто прибегают на практике, не требуется (при необходимости аммонизация может проводиться при окончательном хлорировании). Когда в воде находятся преимущественно *трудно-окисляемые загрязнения*, например, *растворимые фракции нефти и ее продукты, синтетические поверхностно-активные вещества, органические пестициды* и т.д., целесообразно применять озон как наиболее сильный окислитель. Иногда может оказаться также эффективным применение нескольких окислителей (хлора и перманганата калия, озона и хлора). *Выбор окислителя, его дозы и места ввода* в технологической схеме очистки воды устанавливается путем пробной ее обработки в лабораторных условиях, исходя из того, чтобы нагрузка на уголь как сорбент была минимальной. При этом необходимо учитывать, что уголь играет роль не только сорбента, но и катализатора окисления, т.е. он ускоряет процесс окисления.

При расчете угольной загрузки как сорбционной исходят из следующих соображений. Высота угольной загрузки должна быть больше некоторой величины h_y , обеспечивающей требуемый эффект очистки воды от химических загрязнений. Для расчета этой величины с некоторым приближением можно пользоваться простейшей зависимостью вида

$$h_y = vT, \quad (2.38)$$

где $v = 10...15$ – скорость фильтрования, м/ч; $T = 10...15$ – время пребывания воды в угольной загрузке, необходимое для очистки, мин.

Величину T определяют по опыту, проводимому на фильтровальной колонке, загруженной углем, предполагаемого к использованию, при фильтровании воды, подлежащей очистке на реальных сооружениях. Оно зависит от сорбционных свойств угля, концентрации и вида загрязнений, способов обработки воды до ее поступления на угольный фильтр, в том числе и от вида применяемого окислителя. При совмещении в одном фильтровальном сооружении функций осветления воды и очистки от механических загрязнений принимаемые параметры загрузки должны удовлетворять также требованиям процесса осветления. При расчете и подборе загрузки как осветляющей к ней применимы общеизвестные описанные в литературе приемы технологического моделирования. При проектировании фильтровальных сооружений с угольной загрузкой следует учитывать возможность использования безгравийных распределительных систем, что позволяет уменьшить строительную высоту или соответственно увеличить слой загрузки.

Весьма важным является вопрос о возможной продолжительности работы активного угля, которая зависит от правильного подбора дозы и типа окислителя, а также от других условий и не может быть заранее определена какими-либо расчетами. Практика показывает, что при совместном применении окислителя и активного угля эффективность последнего по отношению к

химическим загрязнениям может сохраняться в течение длительного времени. Вместе с тем вследствие обрастания угля неорганическими загрязнениями (в основном гидроксидами алюминия, железа и др.) возможно резкое снижение сорбционной способности по отношению к органическим веществам. Поэтому необходимо обеспечить высокую степень предварительного осветления воды до поступления ее в слои угольной загрузки. Это особенно относится к фильтровальным сооружениям, в которых совмещены функции осветления и очистки от химических загрязнений.

РАЗДЕЛ 3. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

3.1. Фторирование и обесфторирование воды

3.1.1. Фторирование воды

Содержание фтора в питьевой воде, согласно СанПиН, в зависимости от климатических условий должно поддерживаться в пределах 0,7-1,5 мг/л. Недостаток фтора в питьевой воде приводит к кариесу зубов у населения, избыток – к флюорозу зубов. **Фторирование воды** осуществляют химическим методом с применением фторсодержащих реагентов.

В качестве фторсодержащих реагентов можно использовать: кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6), кремнефтористоводородную кислоту (H_2SiF_6), фтористый натрий (NaF), кремнефтористый аммоний $[(\text{NH}_4)_2 \text{SiF}_6]$, фтористый кальций (CaF_2), фтористоводородную кислоту (HF), кремнефтористый калий (K_2SiF_6), кремнефтористый алюминий $[\text{Al}_2 (\text{SiF}_6)_3]$, фтористый алюминий (AlF_3) и др. В отечественной практике широкое применение получил кремнефтористый натрий. Это мелкий, сыпучий, негигроскопический кристаллический порошок белого цвета, без запаха, удобен в эксплуатации. Плотность его 2,7 г/см³, рН насыщенного раствора 3,5-4,0. В воде растворяется плохо. Самый дешёвый из всех перечисленных реагентов фтористый кальций, но он имеет крайне низкую растворимость в воде (0,0016 г на 100 мл при 25°C).

Дозу фторсодержащего реагента, г/м³, рассчитывают по формуле:

$$D_{\phi} = 10^4 \cdot \frac{m_{\phi} \cdot a_{\phi} - \Phi}{K_{\phi} \cdot C_{\phi}}, \quad (3.1)$$

где m_{ϕ} – коэффициент, зависящий от места ввода реагента в обрабатываемую воду, принимаемый при вводе после очистных сооружений – 1,0, при вводе перед фильтрами при двухступенчатой схеме очистки воды – 1,1; a_{ϕ} – необходимое содержание фтора в обработанной воде, мг/л, в зависимости от климатического района расположения населенного пункта (для средней полосы России $a_{\phi} = 1$ мг/л – для зимнего периода); Φ – содержание фтора в исходной воде, мг/л; K_{ϕ} – содержание фтора в чистом реагенте, %; C_{ϕ} – содержание чистого реагента в товарном продукте, %.

Установки фторирования по технологии приготовления растворов фторсодержащих реагентов можно классифицировать: на установки сатураторного типа; с растворными баками (с механической мешалкой или с барботированием сжатым воздухом); с растворо-затворными баками; с применением кремнефтористоводородной кислоты.

На установках сатураторного типа в качестве реагента применяют порошкообразный кремнефтористый натрий, который вводят в воду перед хлорированием. Предварительно реагент замачивают и размешивают в ёмкости, а затем выливают в сатуратор (примерно один раз в смену). В основе работы сатуратора положен принцип объёмного вытеснения.

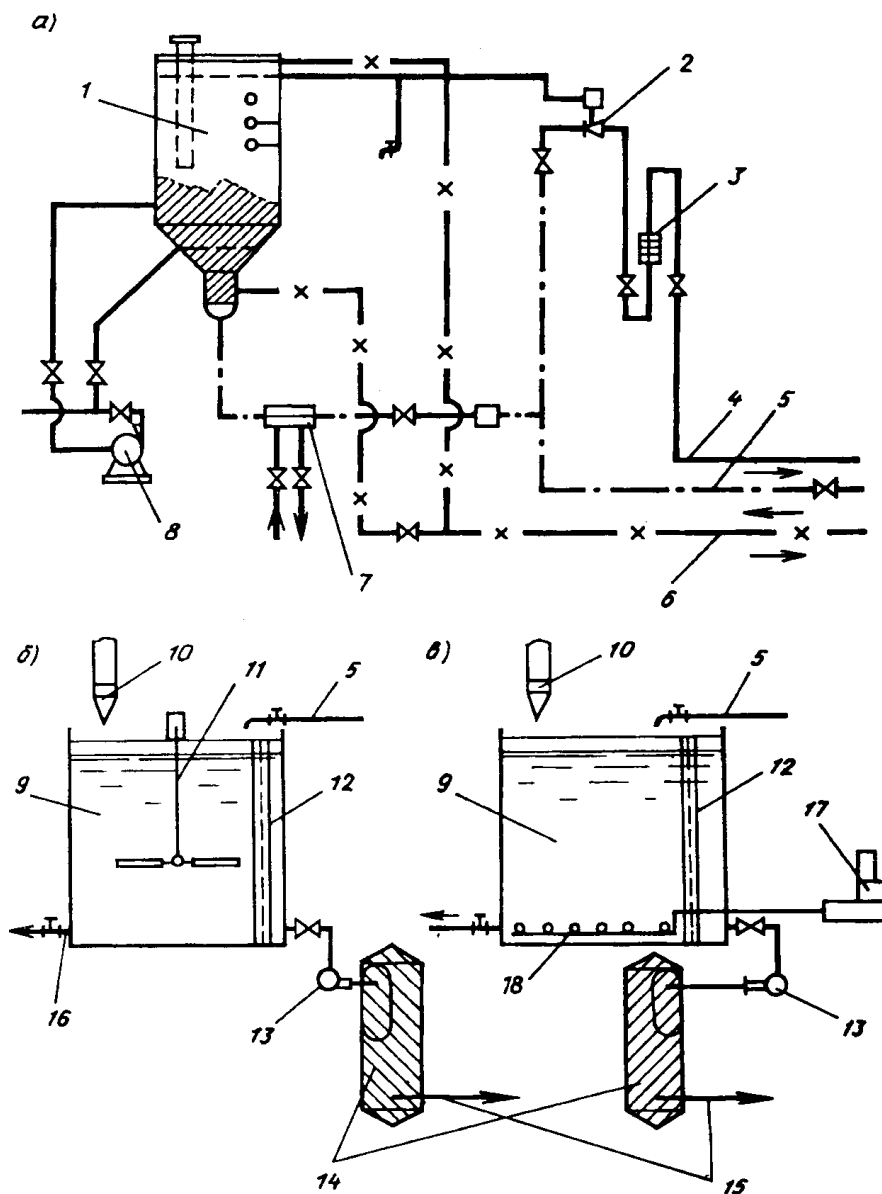


Рис. 3.1. Схема фтораторной установки сатураторного типа (а), с растворными баками с механическим побуждением (б) и с барботированием (в):

1 – сатуратор; 2 – эжектор; 3 – расходомер; 4, 5 – отвод фторированной и подача исходной воды; 6 – водосток; 7 – теплообменник; 8 – рециркуляционный насос; 9 – растворный бак; 10 – бункер фторсодержащего реагента с дозатором; 11 – мешалка; 12 – поплачковое устройство; 13 – насос дозатор; 14 – напорный фильтр для осветления раствора реагента; 15 – отвод фторсодержащего раствора; 16 – сброс осадка; 17 – воздуходувка; 18 – воздухораспределительная система.

Во фтораторных установках с растворными баками в качестве реагента используют кремнефтористый натрий. Загрузку в баки реагентов осуществляют с помощью бункеров, оборудованных вибраторами и дозаторами объёмного

типа. Для лучшего растворения реагента баки снабжены мешалками с частотой вращения 50-60 мин⁻¹, возможно перемешивание сжатым воздухом. Время перемешивания 2 ч, время отстаивания 2 ч. Концентрация раствора реагента в баках оставляет 0,05 % по фтору или 0,008 % по чистой соли.

Фтораторные установки с затворно-растворными баками состоят из системы баков: затворного, двух растворных и дозирующего бака, снабжённого поплавковым клапаном. Растворяют фтористый натрий в воде, нагретой до 75-80°C.

При применении 8% кремнефтористоводородной кислоты она из автомобильной или железнодорожной цистерны, в которой транспортируется, с помощью воздуходувок перекачивается в стационарные складские цистерны, а из них поступает в бак-мерник, откуда эжектором дозируется в воду.

В зарубежной практике фтористые соединения вводятся в воду в сухом виде – непосредственно порошком, сухими дозаторами, через растворную камеру или в жидком виде – дозаторами для растворов. Первый способ обычно реализуют на водоочистных комплексах большой производительности, второй – на установках малой производительности.

3.1.2. Дефторирование воды

Для **обесфторивания воды** может быть использован ряд методов, в основу которых положено извлечение фтора фильтрованием воды через фторселективные материалы. К фторселективным материалам относятся: активированный оксид алюминия; фосфатсодержащие сорбенты (обработанные щелочью трикальцийфосфат, суперфосфат и др.); магниевые сорбенты (оксифториды магния); активированные угли (БАУ, КАД); алюмомодифицированные материалы и др.

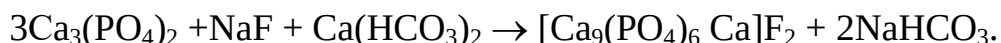
Методы сорбции фтора осадком гидроксида алюминия или магния, а также фосфата кальция, которые целесообразно применять при обработке поверхностных вод, когда кроме обесфторивания требуется ещё их осветление и обесцвечивание. Вместе с тем метод находит применение для обработки подземных вод при необходимости одновременного умягчения воды реагентным методом.

Процесс сорбции фтора свежесформованным гидроксидом магния при pH = 9 протекает быстро и интенсивно, практически не зависит от температуры и заканчивается за 8-12 мин, сорбционная способность гидроксида магния может быть использована более полно путём пропуска обрабатываемой воды через его взвешенный слой. Рекомендуется скорость восходящего движения воды в осветлителях 0,2-0,3 мм/с. Высота слоя осадка принимается 2-2,5 м. Время пребывания воды в слое контактного осадка не менее 1ч. При этом расход магния на удаление одного мг фтора – около 30 мг.

Обесфторивание воды солями алюминия целесообразно проводить при низких значениях pH = 4,3-5. В этом случае в осадке преимущественно находится основной сульфат алюминия – $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$ и уменьшается

содержание $\text{Al}(\text{OH})_3$, который сорбирует фтор в меньшей степени, чем $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$. При таких pH требуются меньшие дозы сульфата алюминия: 25-30 мг на 1 мг удаляемого фтора.

Удаление фтора из воды с помощью трикальцийфосфата основано на сорбции свежееобразованным трикальцийфосфатом, который связывает имеющийся в воде фтор в малорастворимое соединение – $[\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6\text{Ca}]\text{F}_2$, выпадающее в осадок. Расход трикальцийфосфата на удаление 1 мг фтора составляет 23-30 мг. Связывание фтора описывается следующей реакцией:



Скорость восходящего потока воды в слое взвешенного осадка принимают 0,6-0,8 мм/с. Содержание фтора снижается с 5 до 1 мг/л при расходе реагента 30 мг на 1 мг удалённого фтора.

В описанных случаях технологическая схема дефторирования воды с использованием соответствующих реагентов включает вертикальные вихревые смесители, осветлители со слоем взвешенного осадка и скорые фильтры.

Известен метод обесфторивания воды контактно-сорбционной коагуляцией. Коагулянт сернокислый алюминий вводится в воду непосредственно перед контактными осветлителями. Метод применим при концентрации фтора до 5 мг/л, сероводорода – до 2 мг/л, щёлочности – до 6 мг-экв/л. На 1 мг удаляемого фтора расходуется ~ 80 мг сульфата алюминия.

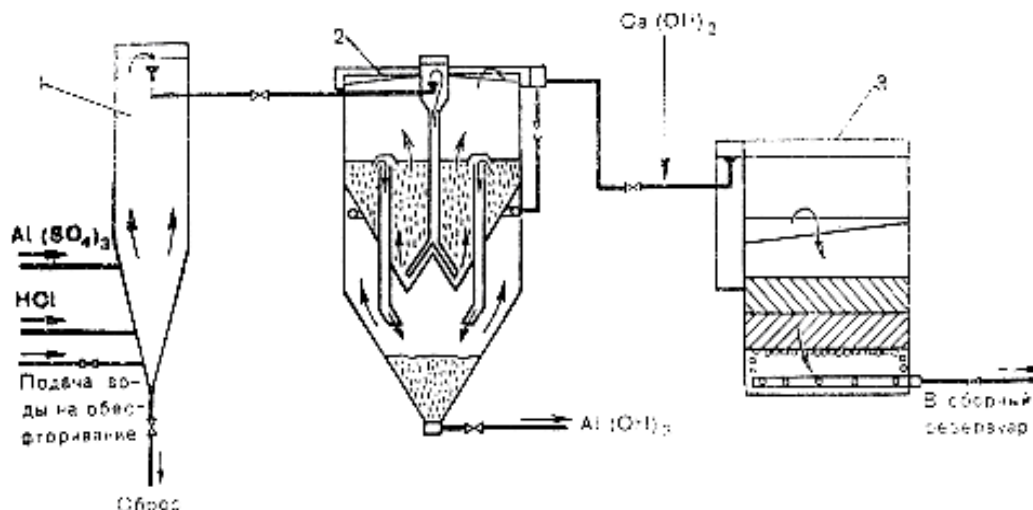


Рис. 3.2. Технологическая схема обесфторивания воды сорбцией осадком гидрооксида алюминия: 1 – смеситель; 2 – осветлитель со слоем взвешенного осадка и поддонным осадкоуплотнителем; 3 – скорый осветлительный фильтр

Дефторирование воды активированным оксидом алюминия (дефлюоритом) обеспечивает высокий эффект удаления фтора из подземных вод. Зернистый активированный оксид алюминия (ЗАОА) является наиболее дешёвым сорбентом, простым в изготовлении и ёмким по поглощению фтора. При фильтровании обрабатываемой воды со скоростью 5-7 м/ч через ЗАОА

происходит поглощение фтора сорбентом в результате обмена сульфат-ионов на фтор-ионы. Регенерация сорбента производится пропуском через него 1-1,5%-ного раствора сульфата алюминия. Ёмкость поглощения 1 г ЗАОА составляет 2-2,5 мг фтор-ионов.

Описанный процесс осуществляется на скорых напорных или открытых фильтрах, или контактных осветлителях, загруженных ЗАОА. Помимо фильтров установка по удалению фтора из воды должна иметь реагентное хозяйство для приготовления регенерационных растворов, баки для воды, используемой для взрыхления и отмывки сорбента. Обесфторивание воды по данному методу характеризуется наибольшим технико-экономическим эффектом, так как себестоимость обработки воды здесь минимальная, по сравнению со всеми ранее рассмотренными методами.

Для подземных вод, не требующих осветления и обесцвечивания, возможно обесфторивание с применением сильноосновных анионитов. По экономическим соображениям это целесообразно при необходимости одновременного опреснения воды.

3.2. Удаление железа и марганца

3.2.1. Удаление железа

Железо присутствует в воде в виде сложных органических и минеральных соединений, растворов двухвалентного железа, карбонатов и бикарбонатов железа, коллоидных и тонкодисперсных взвесей гидроксидов и сульфитов железа и др. Обезжелезивание воды производится при содержании в ней железа более 0,3 мг/л. Многообразие форм и концентраций железа, встречающегося в природных водах, вызвало необходимость разработки целого ряда методов, технологических схем и сооружений обезжелезивания воды. Все методы обезжелезивания можно свести к двум основным типам: безреагентные и реагентные. Обезжелезивание поверхностных вод можно осуществить лишь реагентными методами, а для удаления железа из подземных вод наибольшее распространение получили безреагентные методы.

Используемые безреагентные методы обезжелезивания воды: вакуумно-эжекционная аэрация и фильтрование; упрощенная аэрация и фильтрование; «сухая» фильтрация; фильтрование на каркасных фильтрах; фильтрование в подземных условиях с предварительной подачей в пласт окисленной воды или воздуха; аэрация и двухступенчатое фильтрование.

К реагентным относят следующие методы: упрощенная аэрация, окисление, фильтрование; напорная флотация с известкованием и последующим фильтрованием; известкование, отстаивание в тонкослойном отстойнике и фильтрование; фильтрование через модифицированную загрузку; электрокоагуляция; катионирование.

Выбор того или иного метода обработки природной воды, содержащей соединения железа и марганца, зависит от их количества и формы существования, качественного состава воды и производительности очистных сооружений (установок).

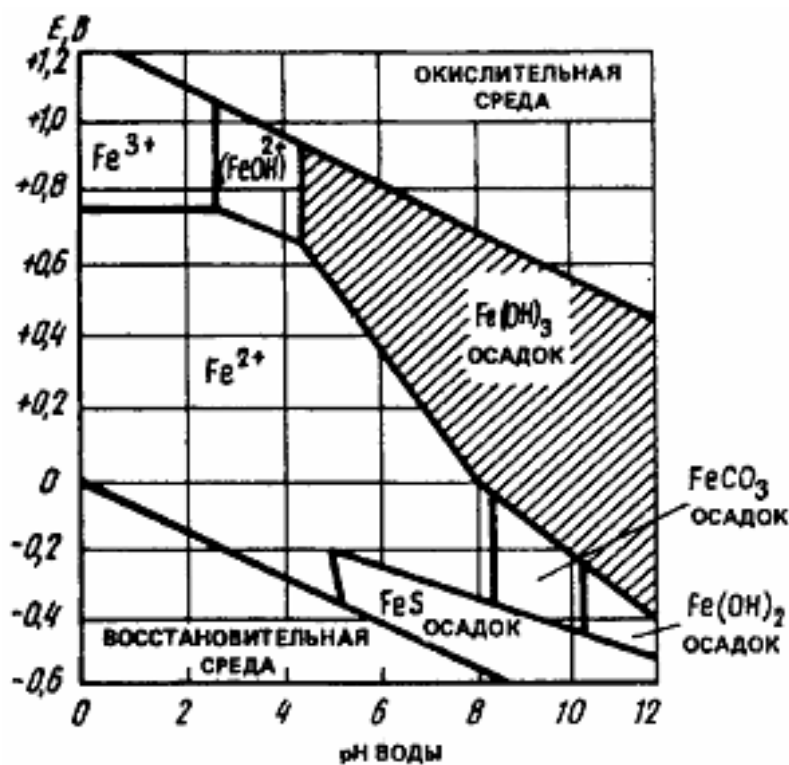


Рис. 3.3. Диаграмма Пурбе для железа

В состав большинства станций и установок обезжелезивания, работающих в безреагентном или реагентном режиме входят: аэрационные устройства; оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания воды; в отдельных случаях — отстойники с тонкослойными модулями или осветлители со взвешенным осадком; скорые фильтры. К аэрационным устройствам, предназначенным для насыщения воды кислородом, удаления части свободной углекислоты, частичного окисления двухвалентного железа в трехвалентное, относятся вакуумно-эжекторные аппараты, градирни, брызгательные бассейны, баки-аэраторы.

Безреагентные методы обезжелезивания могут быть применены, когда исходная вода характеризуется: pH — не менее 6,6; щёлочность — не менее 1,5 мг-экв/л. При соблюдении этих условий при содержании железа (III) не более 10 % общего и концентрации железа (II) в бикарбонатной или карбонатной форме до 3 мг/л рекомендуется метод фильтрования на каркасных фильтрах без вспомогательных фильтрующих средств; до 5 мг/л — предпочтительно применять метод «сухой» фильтрации; от 5 до 10 мг/л следует использовать метод упрощённой аэрации с одноступенчатым фильтрованием; от 10-20 мг/л — аэрация и двухступенчатое фильтрование; от 10-30 мг/л рекомендуется вакуумно-эжекционная аэрация с фильтрованием через загрузку большой

грязеёмкости. При содержании углекислого или карбонатного железа (II) более 20 мг/л или при наличии сероводорода 1-5 мг/л, pH не ниже 6,4 рекомендуется метод вакуумно-эжекционной аэрации с последующим отстаиванием в тонком слое воды или обработкой в слое взвешенного осадка и фильтрование.

Реагентные методы обезжелезивания воды применяют при низких значениях pH, высокой окисляемости, нестабильности воды. При этом при содержании сернокислого или карбонатного железа, либо комплексных железоорганических соединений до 10 мг/л и перманганатной окисляемости до 15 мгO₂/л рекомендуется применять фильтрование через модифицированную загрузку; до 15 мг/л и перманганатной окисляемости до 15 мг O₂/л предпочтителен метод, предусматривающий упрощенную аэрацию, обработку сильным окислителем и фильтрование через зернистую загрузку большой грязеёмкости; свыше 10 мг/л и перманганатной окисляемости более 15 мгO₂/л следует применять напорную флотацию с предварительным известкованием и последующим фильтрованием или метод, предусматривающий аэрацию, известкование, отстаивание в тонком слое и фильтрование; свыше 10 мг/л, перманганатной окисляемости более 15 мгO₂/л при производительности установок до 200 м³/сут можно рекомендовать электрокоагуляцию с барботированием, отстаиванием в тонком слое и фильтрование. Обезжелезивание воды катионированием целесообразно лишь в тех случаях, когда одновременно с обезжелезиванием требуется умягчение воды, при этом ионным обменом могут быть извлечены только ионы железа (II). Рассмотрим некоторые из этих методов.

Метод упрощённой аэрации основан на способности воды, содержащей железо (II) и растворённый кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зёрен, образуя каталитическую плёнку из ионов и оксидов железа (II) и (III). Эта плёнка интенсифицирует процесс окисления и выделения железа из воды. Обезжелезивание воды в загрузке, покрытой плёнкой, является гетерогенным автокаталитическим процессом, в результате чего обеспечивается непрерывное обновление плёнки как катализатора непосредственно при работе фильтра. Метод не требует окисления всего железа (II) в трёхвалентное и перевод его в гидроксид. Упрощённая аэрация осуществляется с помощью несложных приспособлений путём разлива воды с небольшой высоты в карман или центральный канал фильтра, либо путём вдувания воздуха в обрабатываемую воду.

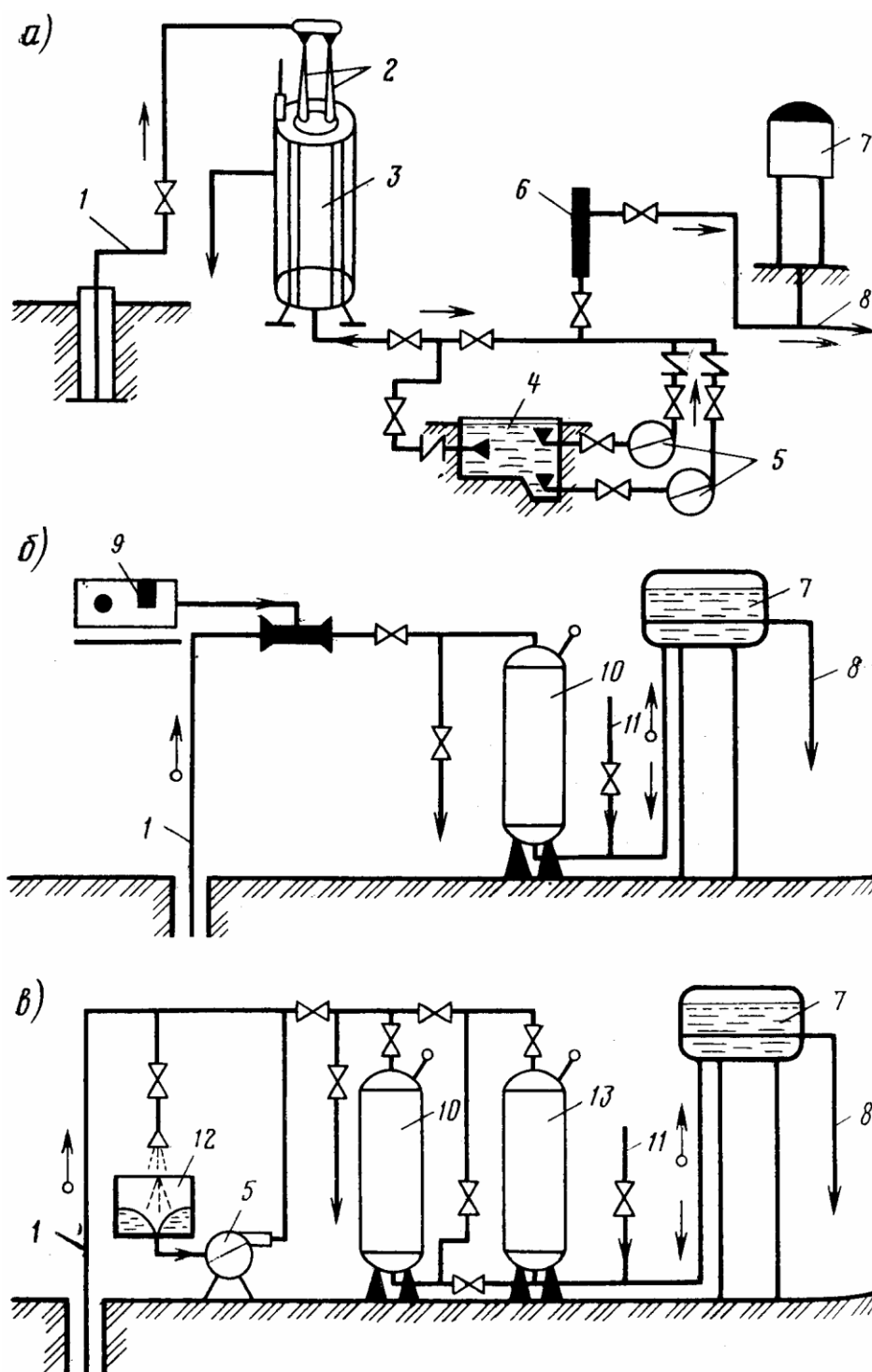


Рис. 3.4. Технологические схемы установок обезжелезивания воды:
 а – вакуумно-эжекционная аэрация и фильтрование; б – упрощенная аэрация с одноступенчатым фильтрованием; в – упрощенная аэрация с двухступенчатым фильтрованием; 1 и 8 – подача исходной и отвод обезжелезенной воды; 2 – вакуумно-эжекционный аппарат; 3 – каркасно-засыпные фильтры; 4 – резервуар промывной воды; 5 – повысительный насос; 6 и 11 – установка для фторирования и обеззараживания воды; 7 – водонапорный бак; 9 – воздуходувка; 10 – скорый осветлительный фильтр; 12 – аэрационное устройство; 13 – осветлительный фильтр II ступени

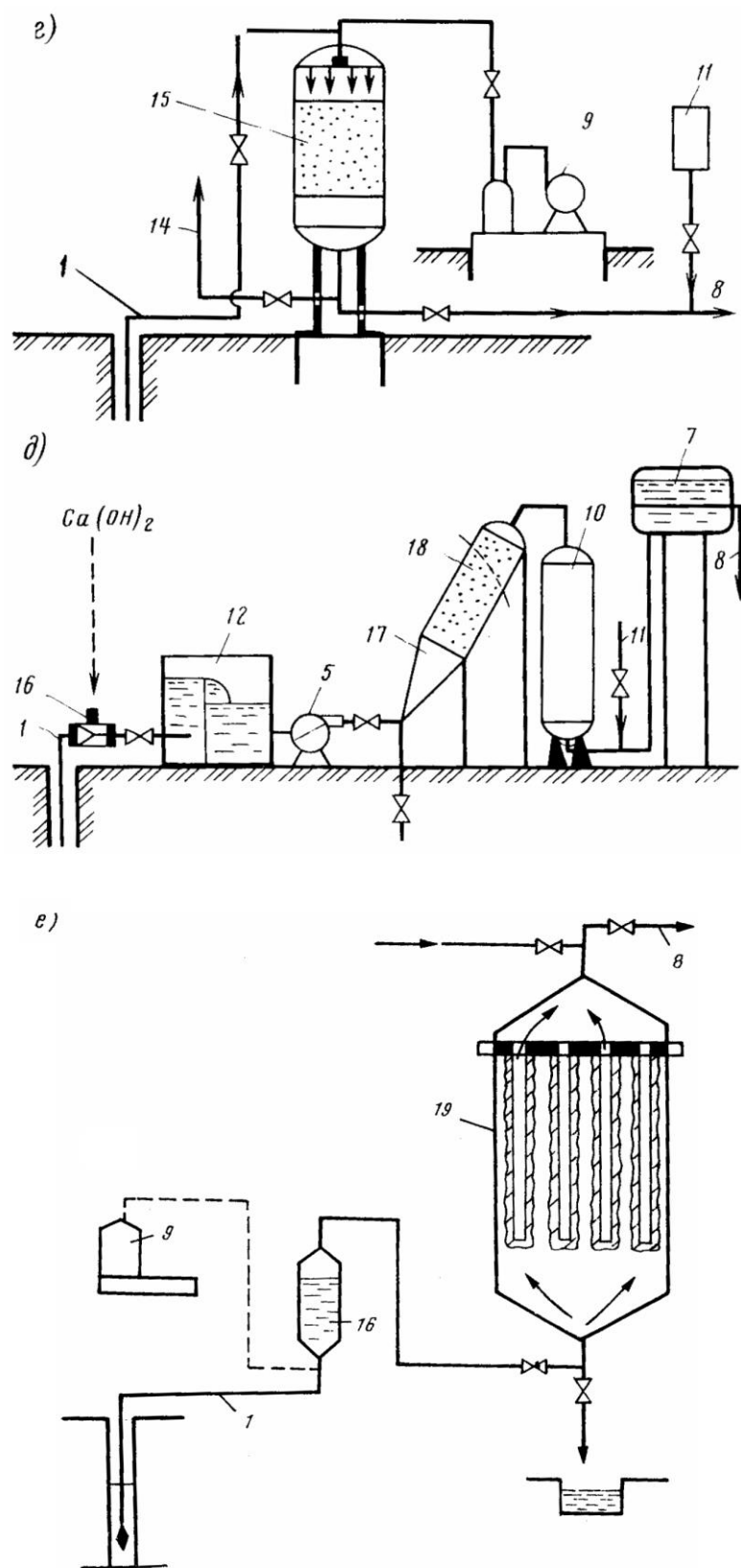


Рис. 3.4. Технологические схемы установок обезжелезивания воды (продолжение):
 г – сухая фильтрация; д – известкование; е – фильтрование через намывной слой; 14 – сброс воздуха;
 15 – скорый фильтр с «сухой загрузкой»; 16 – смеситель; 17 – вихревая камера хлопьеобразования;
 18 – тонкослойный отстойник; 19 – намывной фильтр

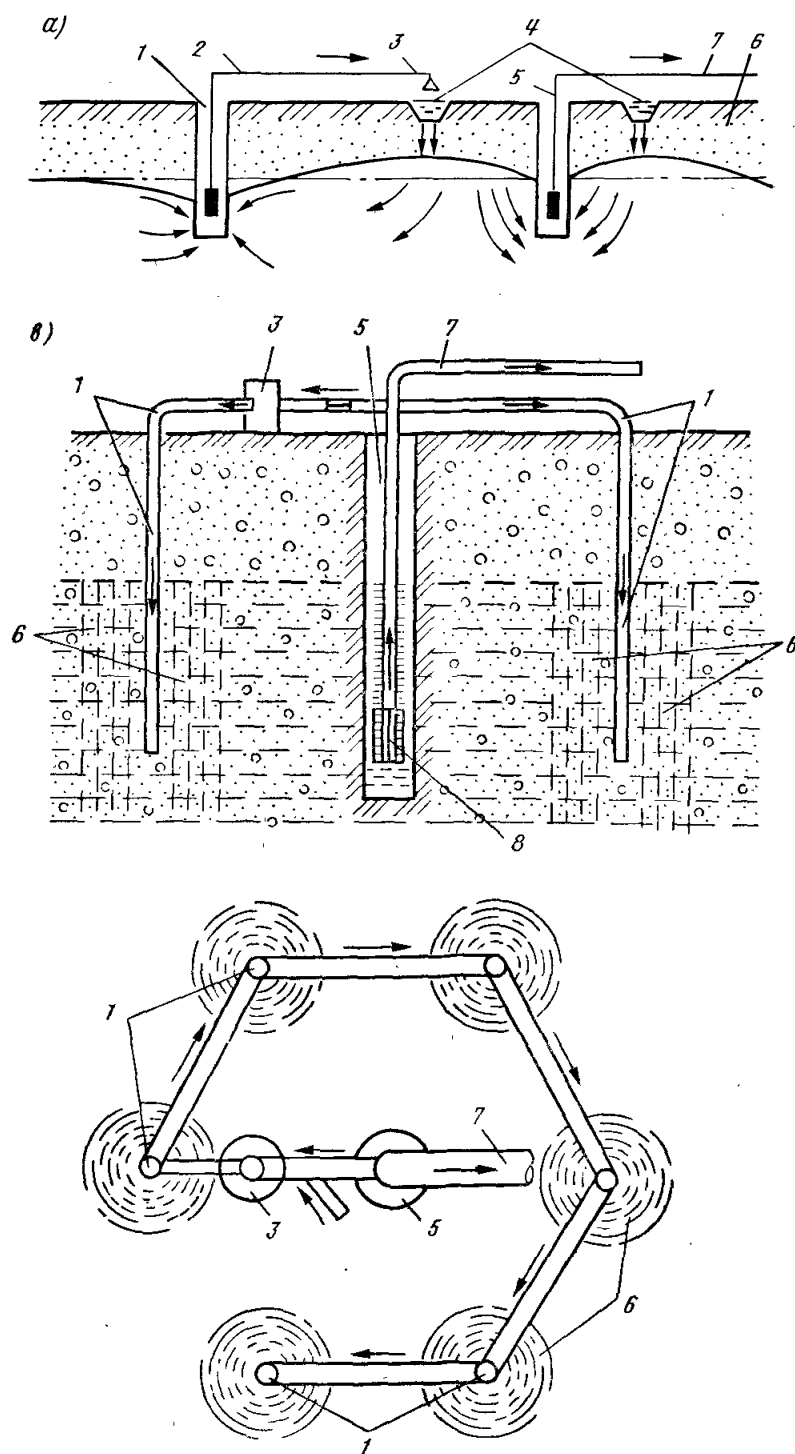


Рис. 3.5. Схема очистки подземных вод в пласте (система «Гидрооксиринг»):
 1 – вспомогательная скважина; 2 – трубопровод; 3 – устройство для аэрации воды; 4 – кольцевой инфильтрационный бассейн; 5 – эксплуатационная скважина; 6 – зона аэрации, 7 – отвод воды потребителю; 8 – насос

Сущность метода «сухой» фильтрации заключается в фильтровании воздушно-водяной эмульсии (3-5 объёмов воздуха на 1 объём воды) через незатопленную зернистую загрузку путём образования в ней вакуума или нагнетания больших количеств воздуха с последующим отсосом из поддонного

пространства. В обоих случаях в поровых каналах фильтрующей загрузки образуется турбулентный режим движения смеси, характеризующийся завихрениями и противотоками, что способствует молекулярному контакту воды с поверхностью зёрен контактной массы. При этом на зёрнах фильтрующей загрузки формируется адсорбционно-каталитическая плёнка из соединений железа (марганца, если он присутствует вводе), повышая эффективность процессов деманганизации и обезжелезивания. Темп прироста потерь напора в фильтрующей загрузке при напорном фильтровании по методу «сухой» фильтрации чрезвычайно мал, а продолжительность фильтроцикла – велика (от нескольких месяцев до года и более). Отличительными особенностями процесса являются: повышение рН и некоторое снижение жёсткости фильтрата, высокая грязеёмкость загрузки и отсутствие промывочных вод (загрузка заменяется на новую, или возможно провести отмывку 5-10 % раствором ингибированной соляной кислоты). Образование на поверхности загрузки активной адсорбционной плёнки, т.е. период «зарядки», составляет 0,3-2 часа.

Деферризацию методом фильтрования на каркасных фильтрах следует применять для обезжелезивания воды на установках производительностью до 1000 м³/сут. Сущность обезжелезивания воды по рассматриваемому методу заключается в том, что железо (II) после оксидации кислородом воздуха переходит в декантирующее железо (III). Гидроксид железа (III), формирующийся в нижней части аппарата, намывается на патрон. При этом в начале процесса решающую роль играет различие в зарядах керамического патрона, хлопьев гидроксида железа и ионов железа (II). Нарастающий на патроне слой гидроксида железа служит контактным материалом для новых постоянно намываемых агрегатов, при этом происходят как физические, так и химические процессы. Патрон служит только опорным каркасом для фильтрующего слоя гидроксида железа.

Обезжелезивание воды упрощённой аэрацией, хлорированием и фильтрованием заключается в удалении избытка углекислоты и обогащении воды кислородом при аэрации, что способствует повышению рН и первичному окислению железоорганических соединений. Окончательное разрушение комплексных соединений железа (II) и частичная его оксидация достигаются путём введения в обрабатываемую воду окислителя (хлора, озона, перманганата калия и др.). Соединения железа (II) и (III) извлекаются из воды при фильтровании её через зернистую загрузку. Скорость фильтрования до 10 м/ч, промывка водовоздушная.

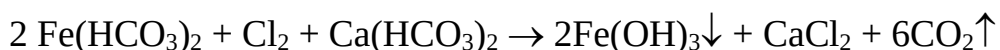
Обезжелезивание воды фильтрованием через модифицированную загрузку применяют при её повышенной окисляемости. Оно основано на увеличении сил адгезии путём воздействия на молекулярную структуру поверхности зёрен фильтрующей загрузки. Для увеличения сил адгезии необходимо на поверхности зёрен фильтрующей загрузки образовать плёнку путём модификации загрузки, предусматривающей последовательную обработку 1,5%-ным раствором сернокислого железа (II), а затем 0,5%-ным раствором

перманганата калия. Суммарная продолжительность контакта 30 мин. Спустя 20 мин после начала работы фильтрат отвечает требованиям СанПиН на питьевую воду.

Обезжелезивание поверхностных вод осуществляют при одновременном осветлении и обесцвечивании. Железо, находящееся в воде в виде коллоидов, тонкодисперсных взвесей и комплексных соединений, удаляется обработкой воды коагулянтами.

Для разрушения комплексных органических соединений железа воду обрабатывают хлором, озоном или перманганатом калия. Доза коагулянта устанавливается экспериментально. Технологическая схема обезжелезивания воды методом коагулирования включает реагентное хозяйство, смесители, осветлители и скорые фильтры.

Двухвалентное железо окисляется хлором или хлорной известью по реакции:



Дозу хлорреагента, мг/л, определяют по формуле:

$$D_x = 0,65 \div 0,7 [\text{Fe}^{2+}], \quad (3.2)$$

где $[\text{Fe}^{2+}]$ – концентрация двухвалентного железа в исходной воде, мг/л.

Окисление двухвалентного железа перманганатом калия описывается следующим уравнением:



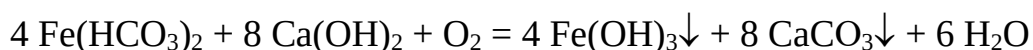
Расчетная доза перманганата калия, мг/л:

$$D_{\text{п}} = [\text{Fe}^{2+}], \quad (3.3)$$

где $[\text{Fe}^{2+}]$ – концентрация двухвалентного железа в исходной воде, мг/л.

Концентрация рабочего раствора перманганата калия принимается в пределах 20-30% растворимости KMnO_4 при данной температуре.

При аэрации и известковании протекает химическая реакция, описываемая уравнением:



Ориентировочно дозу извести (в пересчете на CaO), мг/л, рассчитывают по формуле:

$$D_{\text{и}} = 0,8 [\text{CO}_2] + 1,8 [\text{Fe}^{2+}]. \quad (3.4)$$

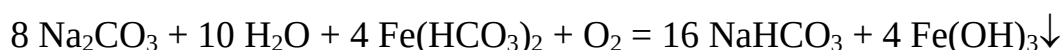
При обезжелезивании поверхностных вод, предусматриваемым одновременно с их осветлением и обесцвечиванием, дозу извести (в пересчете на СаО), мг/л, определяют по формуле:

$$D_{\text{и}} = 28 \left(\frac{[CO_2]}{22} + \frac{[Fe^{2+}]}{28} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} \right), \quad (3.5)$$

где $[CO_2]$ и $[Fe^{2+}]$ – концентрация свободной углекислоты и двухвалентного железа в исходной воде, мг/л; $D_{\text{к}}$ – доза коагулянта, мг/л; $e_{\text{к}}$ – эквивалентная масса безводного коагулянта, мг/мг-экв.

Концентрация дозируемого в воду известкового молока принимается равной 3-5%.

В некоторых случаях для подщелачивания воды может применяться кальцинированная сода. При этом окисление двухвалентного железа будет протекать по уравнению:



Подщелачивающие реагенты рекомендуется вводить не перед фильтрами, а перед отстойниками или осветлителями во избежание отложения карбоната кальция на зернах загрузки.

При содержании железа в виде органических соединений или коллоидных частиц применяют предварительную обработку воды озоном, при этом для удаления 1 весовой части железа требуется 1 весовая часть озона.

Принципиально новыми продуктами, появившимися в последние десятилетия, являются специальные каталические загрузки, позволяющие с высокой эффективностью проводить обезжелезивание и деманганацию. К ним относятся Бирм (Birm), пиромозит, магнетит, Гринзанд (Manganese Greensand, MZ-10) и их аналоги. Это природные материалы, содержащие диоксид марганца, например, типа пиролизита, либо цеолиты, в которые при соответствующей обработке вводится диоксид марганца. При пропускании воды, содержащей двухвалентное железо и поливалентный марганец, через слой такой загрузки, происходит окисление железа и марганца и их перевод в нерастворимую гидроокись, осаждающуюся в загрузке.

Загрузка Бирм (Birm) представляет собой горную породу, содержащую природный диоксид марганца, эффективно помогающий окислять железо при наличии в воде растворенного кислорода воздуха. В случае, когда содержание растворенного железа в воде оказывается менее 1 мг/л, содержащегося в воде кислорода оказывается достаточно для окисления железа. Образующаяся гидроокись железа осаждается на зернах загрузки. В случае, когда содержание железа оказывается выше 1 мг/л (1-10 мг/л), для его окисления в воду необходимо вводить кислород воздуха. Воздух может подаваться в воду с

помощью компрессора или эжектора, либо с применением объемной аэрации (вакуумно-эжекционным способом).

Гринзанд (Greensand) и его аналоги (MTM, MZ-10) представляют собой пористые носители (цеолиты), в структуру которых введен марганец. В переводе с английского Greensand – «зеленый песок» – это природный минерал глауконит. Загрузка «Manganeze Greensand» - это натриевый глауконит (NaZ), предварительно обработанный хлоридом марганца, который необходимо поглощается цеолитом



В такой форме марганцевый цеолит служит источником кислорода, который окисляет ионы двухвалентного железа до трехвалентного.

Получаемая в результате химической обработки пленка высших окислов марганца расходуется на окисление железа, поэтому необходимо ее постоянное или периодическое восстановление. Для этого загрузка либо периодически обрабатывается раствором перманганата калия, либо перманганат постоянно дозируется с помощью насоса-дозатора в исходную воду перед ее поступлением в фильтр. В первом случае обработка перманганатом калия производится при каждой регенерации загрузки фильтра. Процедура регенерации включает в себя взрыхление загрузки подачей воды снизу-вверх. При этом из слоя удаляются частицы гидроокиси железа и механические загрязнения. Затем в фильтр подается раствор перманганата калия, который пропускают через загрузку сверху вниз. После пропуска раствора перманганата калия загрузка останавливается водой до отсутствия в ней следов марганцовки. Для проведения эффективной регенерации количество перманганата калия берется с избытком.

Для установок малой и средней производительности (до 2000 куб. м. в сутки) используются унифицированные фильтры с корпусами из стеклопластика и управляющими клапанами (рис. 3.6). В случае применения постоянного дозирования перманганата калия в исходную воду, регенерация фильтра производится аналогично обычным механическим фильтрам – обратной промывки.

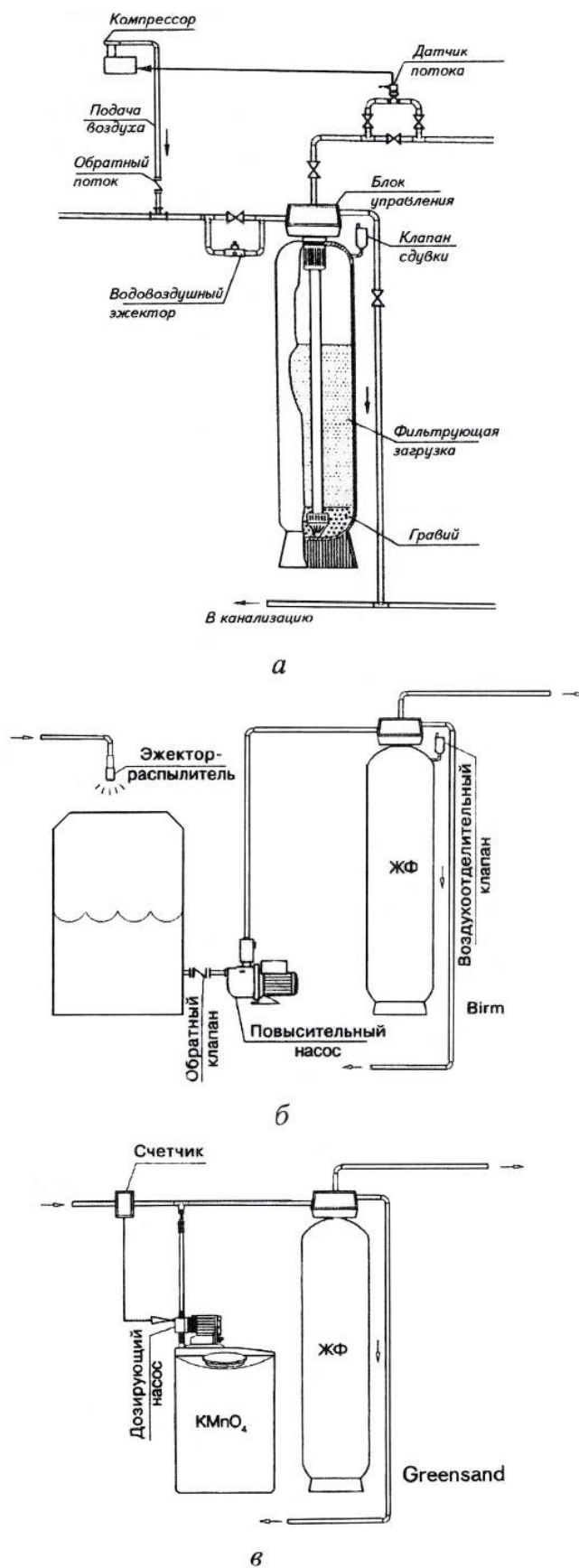


Рис. 3.6. Устройство установок обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку малой производительности:

а) – загрузка (BIRM) с эжектором; б) – загрузка (BIRM) с упрощенной аэрацией; в) – загрузка (GREENSAND) с регенерацией перманганатом калия

3.2.2. Удаление марганца из воды

В подземных водах марганец чаще всего встречается в форме бикарбоната $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$, хорошо растворимого в воде, в концентрациях от 0,5 до 4 мг/л. Источниками попадания марганца в поверхностные водотоки, преимущественно в виде MnSO_4 являются сточные воды промышленных предприятий. При наличии в поверхностных водах гумусовых соединений, марганец присутствует в виде устойчивых, трудно окисляемых органических комплексов. Присутствие марганца свыше 0,1 мг/л вызывают необходимость деманганизации воды.

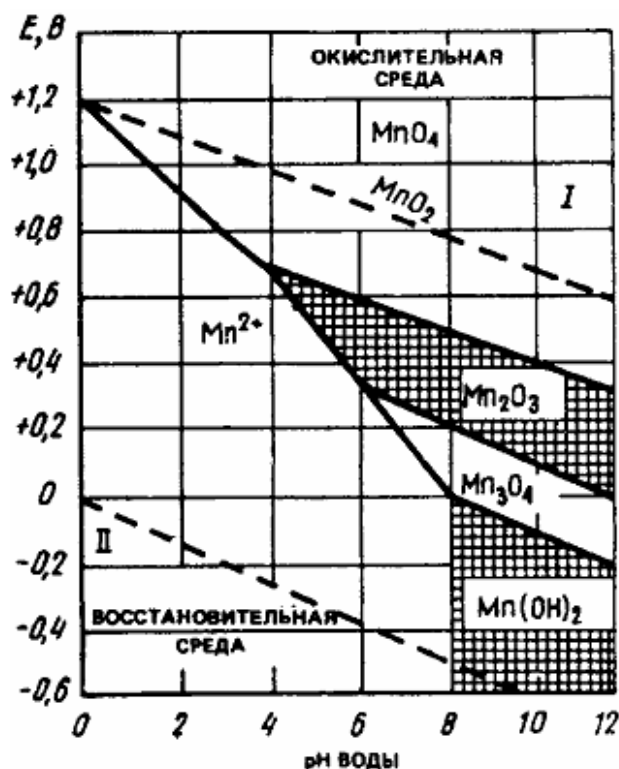


Рис. 3.7. Диаграмма Пурбе для марганца

Эффективность процесса окисления двухвалентного марганца в диоксид марганца зависит от соотношения окислительно-восстановительного потенциала E и pH воды, описываемые диаграммой Пурбе.

Выбор метода деманганизации обусловлен условиями и областью его применения, в частности, производительностью очистных сооружений (установок), составом обрабатываемой воды и количественным соотношением показателей качества. Методы удаления марганца из воды классифицируют на реагентные и безреагентные; окислительные, сорбционные, ионообменные и биохимические.

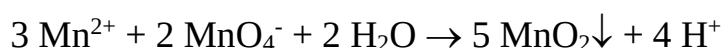
Аэрация с последующим фильтрованием через «черный» песок, пиролюзит, марганцевый катионит. Метод основан на использовании окислительной способности высших окислов марганца, участвующих в процессе окисления

КМnO₄ при фильтровании аэрированной и подщелаченной воды через загрузку. В качестве загрузки может быть использован кварцевый песок крупностью 0,5-1,2 мм или катионит в Na-форме, обработанные последовательно 0,5%-м раствором хлористого марганца или перманганата калия; дробленый природный минерал пиролюзит MnO₂·H₂O. Недостатками метода с использованием катализаторов являются значительный расход КМnO₄, постепенное измельчение и проскок в фильтрат частиц покрытия зерен. При наличии железа воду, подаваемую на марганцевый катионит, необходимо предварительно обезжелезивать.

Обработка сильными окислителями с последующим коагулированием, отстаиванием (при необходимости) и фильтрованием. Метод основан на способности хлора, двуокиси хлора, озона и перманганата калия окислять двухвалентный марганец с образованием мелкодисперсных малорастворимых оксидов марганца. Дальнейшее удаление взвеси достигается коагулированием и фильтрованием. На окисление 1 мг Mn²⁺ требуется: хлора – 1,3 мг (при наличии в воде аммонийных солей расход хлора возрастает на величину, которая требуется для образования и окисления хлораминов); двуокиси хлора – 1,35 мг (рН = 6,5-7); озона – 1,45 мг; перманганата калия – 1,88 мг. Параметры фильтрующей загрузки напорных фильтров принимают следующими: высоту слоя не менее 1,2 м, крупность зерен песка – 1,2 мм. Требуется подщелачивание воды до рН 8-8,5. При одновременном содержании в воде железа и марганца обработка воды производится в две стадии с первоначальным окислением и выделением железа.

Применение перманганата калия (КМnO₄), обладающего окислительными и сорбционными свойствами, позволяет разрушать устойчивые органические комплексы железа и марганца, а также интенсифицировать процесс коагуляции.

Двухвалентный марганец окисляется перманганатом калия с образованием малорастворимой двуокиси марганца, осадок которой является сорбентом вследствие его большой удельной поверхности:



Дозу перманганата калия при удалении марганца из цветных вод принимают большей на величину, требуемую для окисления органических веществ, обуславливающих цветность воды.

Основными элементами блока приготовления перманганата калия являются: баки для приготовления рабочего раствора КМnO₄; устройства для гидравлического или механического перемешивания, обеспечивающие протекание процесса растворения; насосы-дозаторы; склад реагента.

Концентрацию раствора ориентировочно принимают в пределах 20-30 % растворимости КМnO₄ при данной температуре. Устройства для перемешивания рабочего раствора рассчитывают по интенсивности подачи воздуха, равной 4-5 л/с·м². Продолжительность перемешивания при этом составляет в горячей воде – 2-3 часа, в холодной 4-5 часов.

Площадь склада KMnO_4 определяют по суточной потребности в реагенте, необходимости хранения месячного запаса и условий разовой поставки. Перманганат калия выпускается двух сортов, упаковывается в стальные барабаны или банки массой соответственно по 60 и 25 кг.

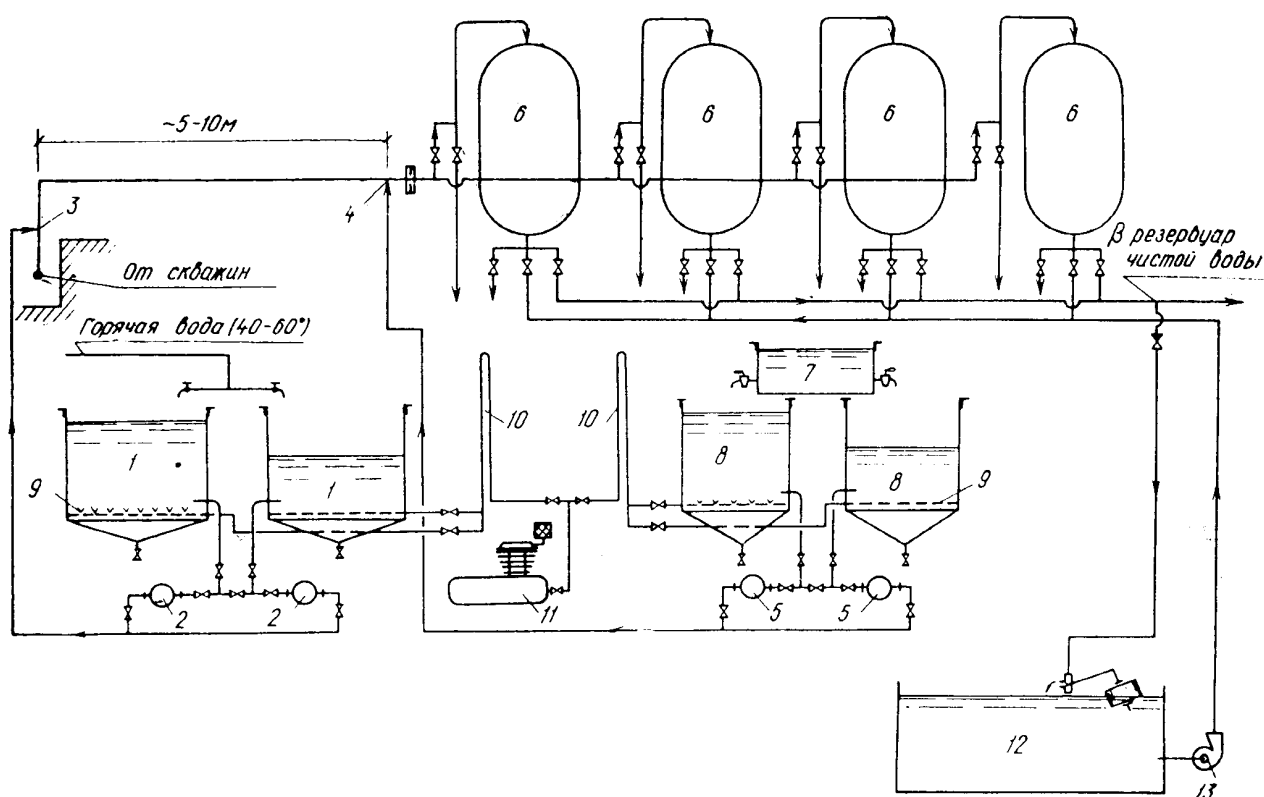


Рис. 3.8. Схема установки для удаления марганца из подземной воды перманганатом калия:

1 – растворные баки KMnO_4 ; 2, 5 – насосы-дозаторы; 3 – ввод раствора KMnO_4 ; 4 – ввод активированной кремнекислоты; 6 – фильтры; 7 – растворный бак серной кислоты; 8 – растворные баки активированной кремнекислоты; 9 – перфорированные трубы; 10 – воздушная петля; 11 – компрессор; 12 – резервуар для промывной воды; 13 – промывной насос

В зависимости от технологической схемы очистки воды подача в обрабатываемую воду раствора перманганата калия осуществляется на насосной станции I-го подъема или на водопроводной станции в трубопровод перед смесителем до ввода коагулянта и флокулянта не менее чем за 5-10 минут.

При удалении марганца из подземных вод перманганат калия вводится перед фильтрами одновременно с активированной кремнекислотой (в количестве 3-4 мг/л), способствующей сокращению продолжительности фильтроцикла.

Реагентное хозяйство (отделение коагулянта, флокулянта, извести), устройства для приготовления и дозирования хлорреагента проектируют по аналогии с реагентным хозяйством водоочистных станций.

Обработка сернокислым железом, подщелачивание, отстаивание с последующим фильтрованием. Метод применяется при удалении Mn^{2+} из

поверхностных вод. Удаление марганца из воды достигается коагуляционной обработкой с подщелачиванием воды известью до pH 9,5-10, задержанием выделившегося марганца в отстойниках (осветлителях) и скорых открытых фильтрах. Толщину песчаной загрузки фильтра принимают не менее 1,5 м.

Аэрация с подщелачиванием, отстаиванием и фильтрованием. Метод целесообразно применять, если одновременно с удалением марганца требуется умягчение воды. Ускорение процесса окисления Mn^{2+} в воде после аэрации перед подачей на фильтры достигается подщелачиванием известью или содой для повышения pH и осветлением в отстойниках (осветлителях) и на фильтрах

Вакуумно-эжекционная аэрация, фильтрование. Сущность метода заключается в извлечении свободной углекислоты и насыщении воды кислородом воздуха в аэрационном аппарате, что способствует повышению pH и ускорению процессов окисления и гидролиза железа и марганца с образованием соответствующих гидроокисей и их задержанием на скорых напорных фильтрах. Метод применяется при перманганатной окисляемости до 9,5 мг O_2 /л.

Удаление марганца из подземных вод в пласте. Окисление двухвалентного железа и марганца при участии железо- и марганецбактерий и их осаждение и задержание в порах водовозмещающих пород осуществляется путем введения в подземный поток воды, содержащей растворенный кислород. Метод не всегда обеспечивает требуемую степень удаления из воды марганца. Содержание Mn^{2+} в исходной воде должно быть не более 0,5 мг/л, необходим высокий pH воды.

Биохимический метод. Сущность метода заключается в высевании на зернах загрузки марганец-потребляющих в процессе жизнедеятельности бактерий с последующим фильтрованием обрабатываемой воды. Образующаяся на зернах песчаной загрузки отмершая биомасса, содержащая окислы марганца является катализатором процесса окисления Mn^{2+} . Необходимым условием является предварительное удаление железа из обрабатываемой воды.

3.3. Дегазация воды

3.3.1. Теоретические основы процесса

Совокупность мероприятий по удалению из воды растворенных в ней или образующихся в процессе ее обработки газов называют дегазацией. Обычно из воды приходится удалять кислород, углекислоту, сероводород, метан и др. (последние два газа при обработке подземных вод). Кислород, углекислота и сероводород вызывают, либо катализируют процесс коррозии металла. Углекислый газ кроме того вызывает разрушение бетона. При обессоливании воды приходится решать задачу удаления углекислоты, которая образуется при взаимодействии бикарбонат-иона с ионом водорода.

Существующие методы дегазации воды подразделяют на физические и химические. При использовании физических методов вода, содержащая удаляемый газ, приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление этого газа в воздухе близко к нулю или же создаются условия, при которых растворимость газа в воде становится ничтожно малой.

Парциальное давление

При обычных условиях различные газы смешиваются друг с другом в любых соотношениях. При этом каждый газ, входящий в состав смеси, характеризуется своим парциальным давлением, которое представляет собой то давление, которое производило бы имеющееся в смеси количество данного газа, если бы оно одно (т.е. количество) занимало (при той же температуре) весь объем, занимаемый смесью.

Закон Дальтона: давление смеси газов, химически не взаимодействующих друг с другом, равно сумме парциальных давлений, составляющих смесь.

Растворимость газов уменьшается с повышением температуры. Поэтому кипячением можно удалить из воды весь растворенный в ней воздух (и газы, в том числе хлор).

Закон Генри: масса газа, растворяющегося в данном объеме жидкости, прямо пропорциональна парциальному давлению газа

$$C = kP, \quad (3.7)$$

где C – массовая концентрация газа в насыщенном растворе; P – парциальное давление; k – коэффициент пропорциональности (константа Генри).

3.3.2. Оборудование для дегазации воды

В технике водоподготовки для удаления газов из воды (кроме кислорода, ввиду его значительного парциального давления в воздухе) в основном применяют пленочные дегазаторы, а для обескислороживания воды – вакуумные дегазаторы или термические деаэраторы. Барботажные дегазаторы используют в исключительных случаях из-за их сравнительно высокой эксплуатационной стоимости (большой расход электроэнергии на компрессию воздуха).

Количество десорбируемого газа, кг/ч, может быть определено по формуле

$$G = K_m A \Delta C_{cp}, \quad (3.8)$$

где K_m – общий коэффициент десорбции, м/ч; A – площадь соприкосновения жидкой и газообразной фаз, м²; ΔC – средняя движущая сила процесса десорбции, кг/м³, которая для случаев десорбции из малоконцентрированных растворов газов определяют по уравнению

$$\Delta C_{cp} = \frac{(C_{вх} - C_{p.вх}) - (C_{вых} - C_{p.вых})}{2,3 \lg \frac{(C_{вх} - C_{p.вх})}{(C_{вых} - C_{p.вых})}}, \quad (3.9)$$

где $C_{вх}$ и $C_{вых}$ – концентрации удаляемого газа в воде соответственно на входе ее в аппарат и на выходе из него; $C_{p.вх}$ и $C_{p.вых}$ – равновесные концентрации удаляемого газа в воде соответственно при входе и на выходе ее из аппарата.

Это уравнение является основным для расчета десорбционных аппаратов. Из него находят необходимую поверхность соприкосновения жидкой и газообразной фаз для обеспечения заданного эффекта дегазации.

Целесообразно использовать дегазаторы, загруженные пластмассовыми или керамическими кольцами Рашига и работающие при подаче в них воздуха вентилятором или вакуумно-эжекционные аппараты.

Самым совершенным типом дегазатора для глубокого удаления из воды свободного диоксида углерода (IV) считают *плечный* дегазатор, загруженный *кольцами Рашига* (рис. 3.9, а). Он обеспечивает наиболее устойчивый эффект дегазации, долговечен, требует меньшей площади и высоты, а также меньшего расхода воздуха, чем дегазатор с деревянной хордовой насадкой. Строительная стоимость его близка к стоимости дегазаторов с деревянной насадкой, а эксплуатационная стоимость ниже, особенно для установок большой производительности. Наиболее целесообразно применять эти дегазаторы на крупных установках и при большом содержании свободного диоксида углерода (IV) в воде, поступающей в дегазатор.

Кольцо Рашига представляет собой полый керамический цилиндр, высота которого равна наружному диаметру. Для уменьшения высоты дегазатора выгоднее применять кольца более мелкого размера, так как единица объема насадки из таких колец имеет большую поверхность. Для загрузки дегазаторов наиболее часто применяют кольца размером 25х25х3 мм, так как общее сопротивление насадки из таких колец при наиболее неблагоприятных условиях работы аппарата не превышает значения напора, развиваемого центробежными вентиляторами среднего давления обычного типа.

Применение *вакуумных* дегазаторов (рис. 3.9, б) для удаления из воды свободной углекислоты целесообразно только в случаях Н-Na-катионитового умягчения или ионитового обессоливания подземных вод, когда в обессоленной или умягченной воде лимитируется содержание кислорода. Наиболее полная дегазация достигается разбрызгиванием в вакууме с одновременным подогревом воды. Вакуумные дегазаторы также могут загружаться насадкой из колец Рашига.

При дегазации воды *барботированием* воздуха через слой воды также создается большая поверхность соприкосновения жидкой и газообразной фаз; тем самым ускоряется выделение газа. Воздух подается компрессорами обычно через дырчатые трубы или пористые плиты. В зависимости от требуемой

степени дегазации воды барботажные дегазаторы применяют одно- или двухсекционные с последовательным пропуском воды.

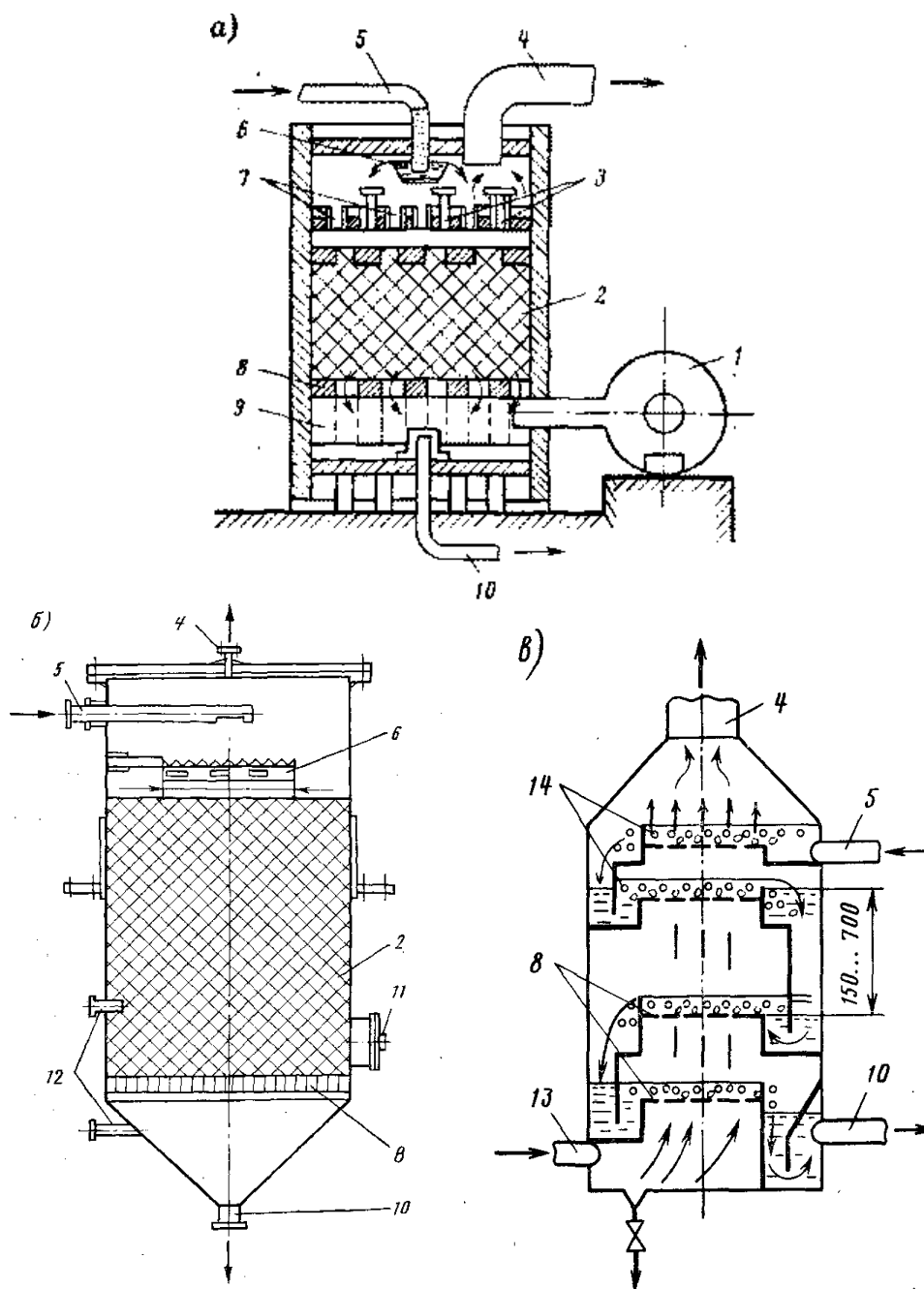


Рис. 3.9. Пленочный (а), вакуумный (б) и пенный (в) дегазатор:

1 – вентилятор; 2 – насадка из керамических колец Рашига; 3 – газоотводной патрубков; 5, 10 – ввод исходной и отвод дегазированной воды; 7 – оросительные патрубки; 4 – удаление воздуха; 9 – поддон; 8 – дырчатое днище; 6 – водораспределительная воронка; 11 – люк; 12 – патрубки для водомерного стекла; 13 – ввод воздуха; 14 – пенный слой

Разновидностью барботажных дегазаторов являются дегазаторы пенного типа (рис. 3.9, в). Основным конструктивным элементом аппаратов служит перфорированная пластина (решетка). Вода тонким слоем протекает вдоль решетки и под действием поперечного тока воздуха, подаваемого через ее

отверстия, вспенивается. В пенном слое газы из воды десорбируются интенсивно. При удалении диоксида углерода (IV) и расходе воды около 100 м³/ч дегазаторы пенного типа наиболее экономичны. При использовании аппаратов этого типа степень десорбции целесообразно ограничить 96...97% с тем, чтобы количество полок не превышало четырех-пяти. При этом для подачи воздуха можно применять центробежные вентиляторы среднего давления.

Для удаления из воды метана или свободного сероводорода также можно рекомендовать пленочные дегазаторы, загруженные пластмассовыми или керамическими кольцами.

Наиболее полная дегазация достигается разбрызгиванием в вакууме с одновременным подогревом воды. На рис. 3.10 изображена схема установки для дегазации в вакууме с подогревом и без подогрева воды.

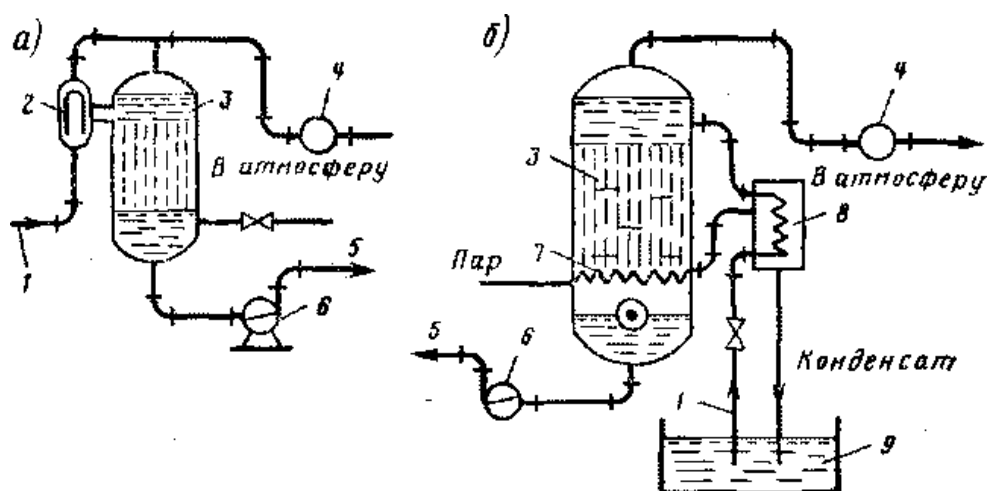


Рис. 3.10. Установки дегазации воды под вакуумом без подогрева (а) и с подогревом (б):
1 — подача исходной и отвод дегазированной воды; 2 — воздухоотделитель; 3 — котел; 4 — вакуум-насос; 6 — насос; 7 — подача пара; 8 — теплообменник; 9 — сборный бак

При проектировании дегазаторов для удаления из воды свободной углекислоты должны быть заданы параметры: расход воды; концентрация свободной углекислоты в воде, и желательное остаточное содержание свободной углекислоты в воде после дегазатора; наименьшая (расчетная) температура обрабатываемой воды.

Допустимые плотности орошения и расход воздуха при глубоком удалении диоксида углерода (до 2-3 мг/л) при исходной концентрации до 150 мг/л составляют 60 м³/м²ч и 15 м³/м³ воды (для дегазаторов с кольцами Рашига размером 25x25x3 мм). При подсчете напора, развиваемого вентилятором, сопротивление колец при этих параметрах можно принимать 30 мм вод. ст. на 1 м высоты загрузки.

Помимо площади поверхности насадки, нужно учитывать площадь внутренней поверхности самого аппарата, которая составляет около 7,5% от площади поверхности насадки.

Концентрация свободной углекислоты в воде, подлежащей дегазации, не всегда указывается в анализе. Ее можно определить следующим образом. При дегазации воды после Н-катионитовых фильтров суммарное количество углекислоты будет равно:

$$C_{\text{вх}} = 44J_{\text{к}} + C_{\text{нач}}, \quad (3.10)$$

где $J_{\text{к}}$ – карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л; $C_{\text{нач}}$ – содержание свободной углекислоты в исходной воде, мг/л, определяемое по номограмме (рис. 3.11). Первый член формулы учитывает свободную углекислоту образующуюся при распаде бикарбонатов.

Номограмма составлена для плотного растворенного остатка воды 20 мг/л и при температуре ее 22 °С. При иных значениях температуры и плотного остатка

$$C_{\text{нач}} = C_{\text{ном}} \alpha \beta, \quad (3.11)$$

где $C_{\text{ном}}$ – содержание свободной углекислоты, найденное по номограмме; α – поправка на температуру; β – поправка на плотный растворенный остаток.

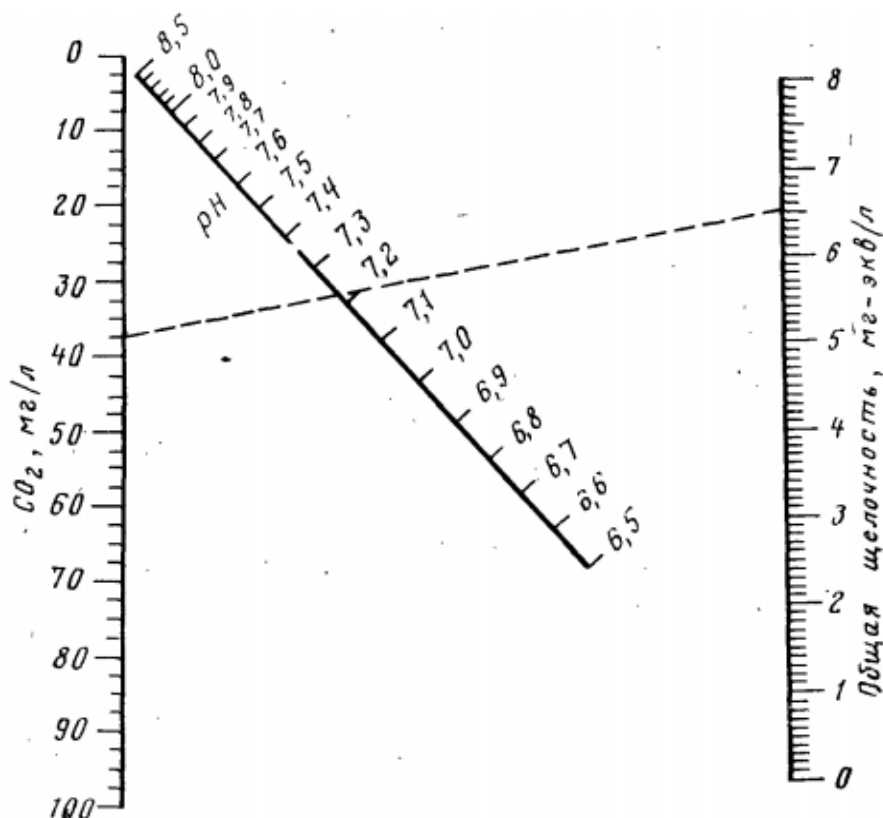


Рис. 3.11. Номограмма для определения содержания в воде свободной углекислоты

При отсутствии в анализе данных о значении рН и щелочности воды концентрацию свободной углекислоты в исходной воде (в мг/л) можно ориентировочно определять по формуле:

$$C_{\text{нач}} = 0,268(J_{\text{к}})^3. \quad (3.12)$$

где $J_{\text{к}}$ – карбонатная жесткость воды, мг-экв/л.

При дегазации воды в цикле обезжелезивания воды аэрацией

$$C_{\text{вх}} = 1,57 C_{\text{Fe}} C_{\text{нач}}. \quad (3.13)$$

где C_{Fe} – содержание железа (II) в обезжелезиваемой воде, мг/л. Первый член формулы учитывает свободную углекислоту, выделяющуюся при гидролизе железа.

Для глубокого или частичного удаления оксида углерода (IV) (независимо от его начальной концентрации и производительности установки) и свободного сероводорода применяют дегазаторы с насадкой из колец Рашига и противотоком воды и воздуха, подаваемого вентилятором.. Для удаления оксида углерода (IV) при производительности установки до 150 м³/ч и начальном его содержании не более 150 мг/л используют дегазаторы с деревянной хордовой насадкой или дегазаторы пенного типа. При глубоком удалении оксида углерода (IV) и производительности до 20 м³/ч применяют барботажные дегазаторы. В случае частичного удаления оксида углерода (IV) при производительности установки до 50 м³/ч используют струйно-пленочные (контактные) градирни, а для глубокого или частичного обескислороживания воды – вакуумные установки с насадкой из колец Рашига.

Площадь поперечного сечения дегазатора, работающего с принудительной подачей воздуха, определяется исходя из плотности орошения насадки 90 м³/(м²·ч) (для насадки из пластмассовых или керамических колец). Удельную подачу воздуха следует принимать равной 4 м³/м³.

Выбор типа дегазатора определяется производительностью установки, необходимой полнотой дегазации, начальной концентрацией удаляемого газа и другими условиями. При проектировании дегазаторов должны быть определены: площадь поперечного сечения дегазатора; необходимый расход воздуха и поверхность насадки для достижения требуемой степени дегазации. Площадь поперечного сечения дегазаторов вычисляют по допускаемой плотности орошения насадки, т. е. по расходу воды, приходящемуся на 1 м² площади поперечного сечения дегазатора.

По А.А. Кастальскому, допустимые плотности орошения насадок и удельные расходы воздуха составляют: при глубоком удалении из воды оксида углерода (IV) — до 2...3 мг/л; на дегазаторах, загруженных кольцами Рашига (25x25x3 мм) — 60 м³/(м²·ч) и 15 м³/м³; на дегазаторах с деревянной насадкой — соответственно 40 м³/(м²·ч) и 20 м³/м³; при глубоком удалении из воды сероводорода на дегазаторах загруженных кольцами Рашига — 40 м³/(м²·ч) и

20 м³/м³; при обескислороживании воды на вакуумных дегазаторах плотность орошения насадки равна 50 м³/(м²·ч).

Остаточное содержание оксида углерода (IV) после вентиляторной градирни при температуре 5...8°C можно принимать 3...5 мг/л, после контактной градирни — 5...8 мг/л.

Полное обескислороживание воды может быть достигнуто методом, предложенным П. А. Акользиным. Сущность его заключается в том, что эжектор, подающий воду, из которой необходимо удалить кислород, подсасывает предварительно обескислороженный воздух. Под влиянием разности концентрации растворенный в воде кислород переходит из жидкой фазы в газообразную. Газ отделяется от воды в специальном десорбере и затем в сепараторе. Обескислороживание воздуха происходит в герметичном реакторе, загруженном древесным углем и омываемом топочными газами с температурой 500...800°C. Однако применение этого метода ограничивается тем, что для обескислороживания воздуха, подсасываемого эжектором, необходимы топочные газы высокой температуры, т. е. наличие котельной. Кроме того, в дегазаторе не удастся одновременно с обескислороживанием воды обеспечить необходимую степень удаления оксида углерода (IV).

3.3.3. Удаление сероводорода

Ранее указывалось, что сероводородные соединения, содержащиеся в воде, могут состоять из свободного сероводорода (H₂S), гидросульфидного иона (HS⁻) и сульфидного иона (S²⁻). При pH воды < 5 все сульфидные соединения в воде присутствуют в виде свободного сероводорода. Поэтому практически полное их удаление возможно лишь при предварительном подкислении исходной воды или в том случае, когда удаление сероводорода объединяется с удалением свободной углекислоты в цикле H-Na-катионитового умягчения или ионитового обессоливания воды. Без подкисления воды из нее можно удалить лишь то количество сульфидных соединений, которое присутствует в виде свободного сероводорода при данном значении pH воды. Это обеспечивает дезодорацию воды, но не устраняет ее коррозионные свойства.

Расчет дегазаторов для удаления из воды свободного сероводорода следует производить исходя из следующих данных. Площадь сечения дегазатора следует определять с учетом плотности орошения насадки (кольца размером 25x25x3 мм) 60 м³/(м²·ч). Удельная подача воздуха — 12 м³/м³.

Исследованиями С.Н. Линевнча установлено, что при использовании пенной дегазации и закрытой аэрации можно повысить эффект удаления сероводорода из воды на 20...25%.

Метод удаления сероводорода аэрированием представляет собой комбинирование аэрирования с биохимическим окислением сероводорода серобактериями. Аэратор содержит шлаковую загрузку. Интенсивность орошения при концентрации сероводорода 40...42 г/м³ составляет 3...4 м³/(м²·ч),

расход воздуха — 20...30 м³/м³; конечная концентрация сероводорода — 0,3...0,4 мг/л. После аэроокисления требуется фильтрование.

Распространенным методом удаления из воды сероводорода является аэрирование (65...70%). Оптимальные условия аэрирования характеризуются определенным соотношением воздуха и воды, избыточное количество воздуха не увеличивает эффективности удаления из воды сероводорода. При аэрировании удаляется сероводород, находящийся в молекулярной форме, и частично окисляется.

Полное удаление сероводорода аэрированием возможно лишь при подкислении воды до pH < 5. В таких условиях высокая концентрация водородных ионов подавляет диссоциацию сероводорода, поэтому большая часть его будет находиться в молекулярной форме, которая легко удаляется аэрированием.

3.3.4. Удаление метана из воды

Метан из воду можно удалять аэрацией (дегазацией), но такой метод связан с выбросом метана в атмосферу, что небезопасно.

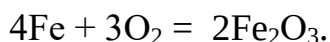
Технология взрывобезопасного удаления метана и его гомологов из подземных вод, исключающая выброс в атмосферу удаляемых из воды газов, позволяющая утилизировать их и сохранять в чистоте окружающую среду, разработана на кафедре водоснабжения МГСУ (Г.И. Николадзе, А.С. Сайфуллаев). Вакуум в дегазаторе создают с помощью эжектора, а для продувки воды используют азот или углекислоту (рис. 3.12).

3.3.5. Химические методы дегазации воды

В основе химических методов удаления из воды растворенных газов лежит их химическое связывание, достигаемое введением реагентов или фильтрованием через специальные загрузки. Для удаления из воды кислорода применяют ее фильтрование через легко окисляющиеся вещества, например, через стальные стружки, и обработку сульфитом натрия или оксидом серы (IV).

При использовании стальных стружек их обезжиривают и загружают в специальный фильтр, содержание марганца в них не должно превышать 0,3%.

В процессе фильтрования железо, окисляясь, связывает кислород



Оксид железа (III) и гидроксид железа (III), образовавшиеся в результате коррозии стружек, удаляют обратной промывкой. Продолжительность контакта воды со стружками зависит от температуры и уменьшается от 25 до 3 мин при увеличении температуры от 20 до 80°C.

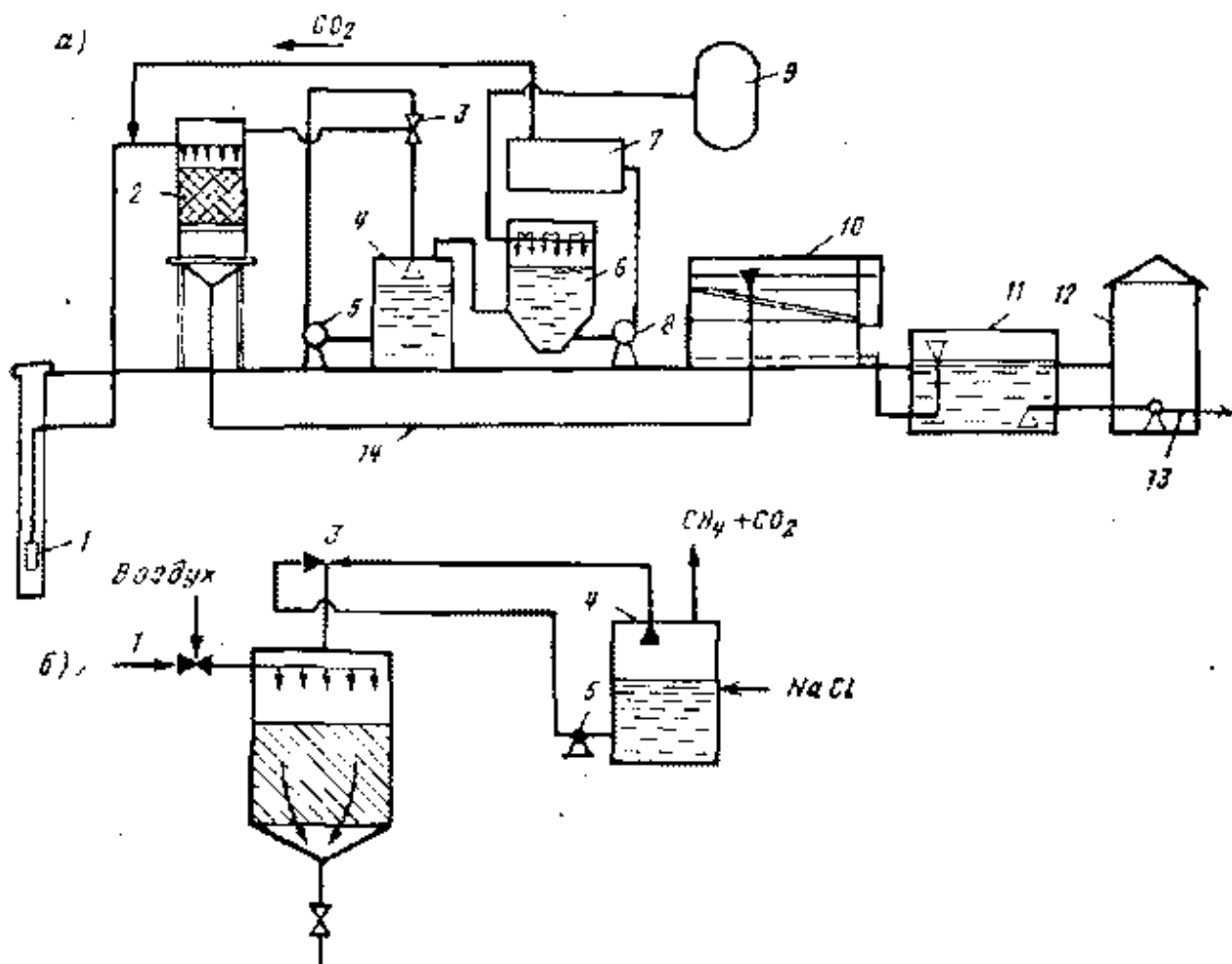
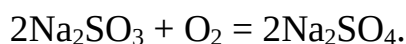


Рис. 3.12. Технологическая схема удаления метана из подземных вод вакуумным способом с предварительным насыщением исходной воды воздухом (б) или инертным газом (а):

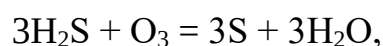
1 — подача исходной воды из скважины, 2 — вакуумный дегазатор, 3 — эжектор, 4 — промежуточная емкость с высокоминерализованной водой, 5 — циркуляционный насос, 6 — бак для раствора извести, 7 — электропечь, 8 — насос для перекачки пульпы $CaCO_3$, 9 — газгольдер для метана, 10 — ступень дальнейшей обработки воды, 11 — РЧВ, 12 — насосная станция II подъема, 13 — отвод воды потребителю, 14 — отвод дегазированной воды

Чаще всего применяют обработку воды сульфитом натрия

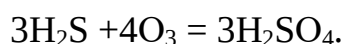


Для удаления 1 мг кислорода расходуется 7,9 мг сульфита натрия.

С. Н. Линевичем предложен метод удаления сероводорода из воды озонированием. При расходе озона 0,5 мг на 1 мг удаляемого сероводорода образуется коллоидная сера:



а при расходе озона 1,87 мг на 1 мг сероводорода образуются сульфаты:



Для воды, содержащей 15...20 мг/л сероводорода, продолжительность озонирования составляет 20 мин, расчетный расход озона — 30 мг/л.

Сероводород окисляется оксидом хлора (IV). Оптимальными условиями окисления сульфидов до сульфатов являются: доза ClO_2 3,5 мг на 1 мг S^{2-} ; pH = 10. Продолжительность контакта 10 мин.

На кафедре водоснабжения МГСУ (Николадзе Г.И., Кочиашвили Г.Г.) разработана схема глубокого удаления из воды сероводорода, исключая выброс в атмосферу удаляемого газа, решая тем самым вопросы по охране окружающей среды. Удаление сероводорода из подземных вод фильтрованием через модифицированную загрузку заключается в адсорбции ионов сероводородных соединений на зернах фильтрующей загрузки. Модификация песчаной загрузки состоит в том, что ее последовательно обрабатывают водными растворами железного купороса и перманганата калия или сульфата натрия и перманганата калия, в результате чего на поверхности зерен кварцевого песка при pH среды 6...9 образуется пленка, в составе которой находятся гидроксид железа и диоксид марганца.

В основе процесса удаления сероводорода с помощью фильтрования через модифицированную загрузку лежит явление хемосорбции. При этом гидроксид железа и диоксид марганца вступают во взаимодействие с сероводородом и гидросульфидом, переводя их в сульфид железа и серу.

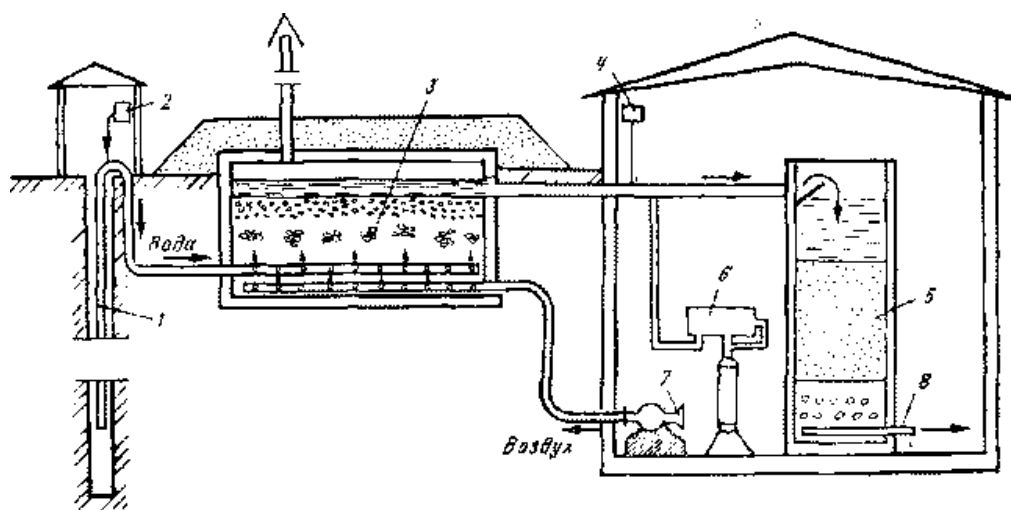
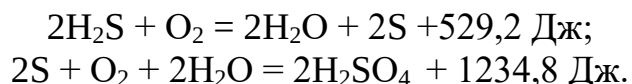


Рис. 3.13. Установка биохимического извлечения сероводорода и воды.

1 – трубчатый колодец с погружным насосом; 8 – отвод обработанной воды; 2 – дозатор биогенных (азотных, фосфорных) соединений; 3 – реактор биохимического окисления; 7 – воздушодувка; 6 – хлоратор; 4 – дозатор сульфата алюминия; 5 – скорый фильтр

Кроме химических способов окисления сероводорода используют и *биохимический метод*. Известно, что большое участие в окислении сульфидных вод принимают *серобактерии*, которые встречаются в серных источниках, стоячих водах и вообще широко распространены в природе. Для массового развития серобактерий необходимы сероводород и кислород. По данным Г. Ю.

Асса, серобактерии окисляют сероводород до серы, которая, в свою очередь, окисляется в серную кислоту:



Для интенсивной деятельности серобактерий необходимо обеспечить нейтрализацию образующейся H_2SO_4 . Это условие выполнимо в том случае, если вода содержит достаточное количество карбонатов. Описанные выше явления легли в основу используемого на практике биохимического метода удаления сероводорода (рис. 3.13).

3.4. Удаление из воды микроэлементов

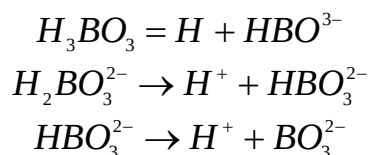
3.4.1. Удаление из воды бора и брома

В новом СанПиНе расширен перечень ингредиентов, содержание которых в питьевой воде ограничено нормами ПДК. К этим биологически активным ингредиентам относятся бор B^{3+} и бром Br^- , допустимое содержание которых в питьевой воде не должно превышать соответственно 0,5 и 0,2 мг/л.

Бор, присутствующий в природных водах иона BO_3^{2-} , может быть удален с помощью специальных, селективных по борат-иону анионитов (например, S-108). Анионит применяется либо в сульфатной форме (в этом случае регенерируется серной кислотой), или в хлоридной форме (регенерируется поваренной солью).

Бромид-ион удаляется на обычных анионитах (например АВ-17-8), также, как и хлорид-ионы, но хуже, чем сульфат-ионы. Поэтому при фильтровании воды через анионит для снижения содержания брома, обменная емкость быстро исчерпывается.

Для удаления ионов бора и брома наиболее эффективно используют метод обратного осмоса. Бор содержится в воде в виде борной кислоты BO_3^{2-} , которая, как слабая кислота, диссоциирует в три ступени



Как слабая кислота, борная кислота лучше диссоциирует при высоких значениях pH. Как известно, обратноосмотические мембраны хорошо задерживают гидратированные ионы солей, но плохо задерживают электронейтральные молекулы. Поэтому селективность обратноосмотических

мембран по бору возрастает при повышении значения pH обрабатываемой воды.

На рис. 3.14 показано изменение концентрации борной кислоты и ионов HBO_3^{2-} в зависимости от pH исходной воды для различных мембран. Для увеличения селективности мембран по бору используется увеличение pH исходной воды (подщелачивание с добавлением извести или щелочи). Однако такое подщелачивание может оказаться «опасным» для мембранных установок с точки зрения интенсивного образования осадка CaCO_3 на мембранах. Поэтому технология обработки морских и подземных вод, содержащих B^- и Br^- , должна учитывать одновременно и мероприятия по предотвращению осадкообразования. Ионы Br^- задерживаются аналогично ионам Cl^- .

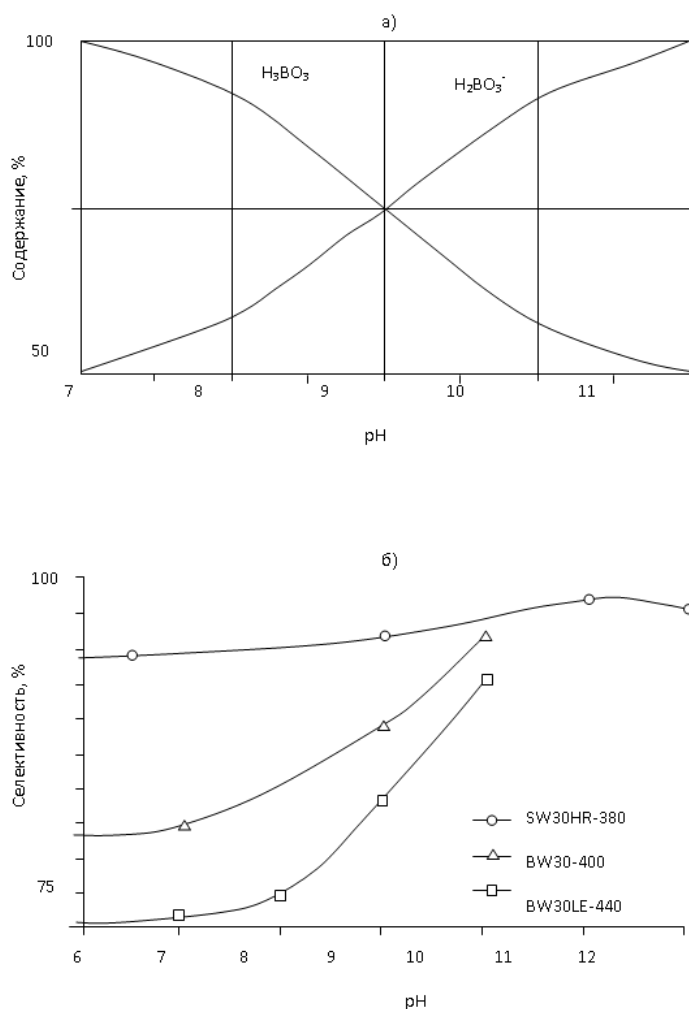


Рис. 3.14. а) Отношение концентраций $\text{H}_3\text{BO}_3/\text{H}_2\text{BO}_3^-$ как функция pH
1 – H_3BO_3 ; 2 – H_2BO_3^- б) Изменение селективности по бору в зависимости от величины pH для различных мембран.

При содержании бора в природных водах на уровне 4-5 мг/л, часто одной ступени обратного осмотического обессоливания недостаточно для обеспечения требований к качеству питьевой воды по ионам бора. Только при использовании высокоселективных мембран для морской воды типа SW30-8040

остаточная концентрация бора не превысит предельно допустимые 0,5 мг/л. Однако мембраны для морской воды рассчитаны на высокое давление обрабатываемой воды, что нерационально по стоимостным показателям.

При использовании второй ступени обратного осмоса для доочистки воды от ионов бора необходимо учитывать зависимость селективности обратноосмотических мембран по бору от величины pH обрабатываемой воды. Как уже говорилось, при значениях pH близких к нейтральным, бор находится в воде в виде борной кислоты H_3BO_3 практически на 100%.

Однако, основываясь на опыте изучения вопросов осадкообразования карбоната и сульфата кальция в обратноосмотических аппаратах, при стремлении увеличить селективность мембран по бору и подщелачивании исходной воды интенсивность образования осадка карбоната кальция вырастает в несколько раз.

На рис. 3.15 показана технологическая схема двухступенчатой установки обратного осмоса.

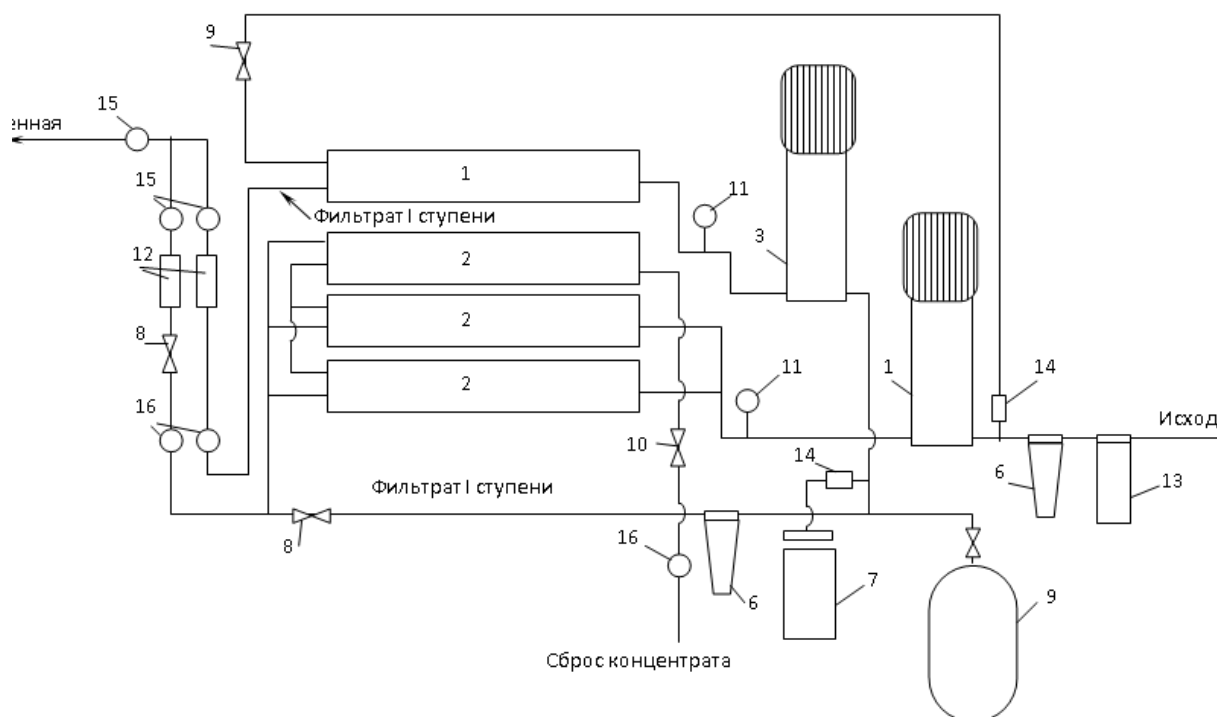


Рис. 3.15. Технологическая схема установки получения питьевой воды из подземного минерализованного источника с повышенным содержанием бора.

1 - насос I ступени; 2 - аппараты I ступени; 3 - насос II ступени; 4 - аппараты II ступени; 5 - напорный бак-гидроаккумулятор; 6 - ингибиторный патрон; 7 - блок дозирования NaOH; 8 - регулирующий вентиль подачи фильтрата I ступени для смешения с фильтратом II ступени; 9 - регулирующий вентиль сбора концентрата II ступени; 10 - регулирующий вентиль сбора концентрата I ступени; 11 - манометр; 12 - ротаметр; 13 - патронный фильтр; 14 - обратный клапан; 15 - солемер; 16 - водосчетчик

Технология очистки воды от йода и брома, разработанная на кафедре ВХПИНМ ЮРГТУ (НПИ), основана на окислительно-сорбционном методе, который предусматривает обработку воды окислителем (гипохлоритом натрия)

с последующей сорбцией окисленных соединений йода и брома гидроксидом алюминия. Образующийся осадок может быть утилизирован на предприятиях йодобромной промышленности с получением технических продуктов – йода и брома (рис. 3.16).

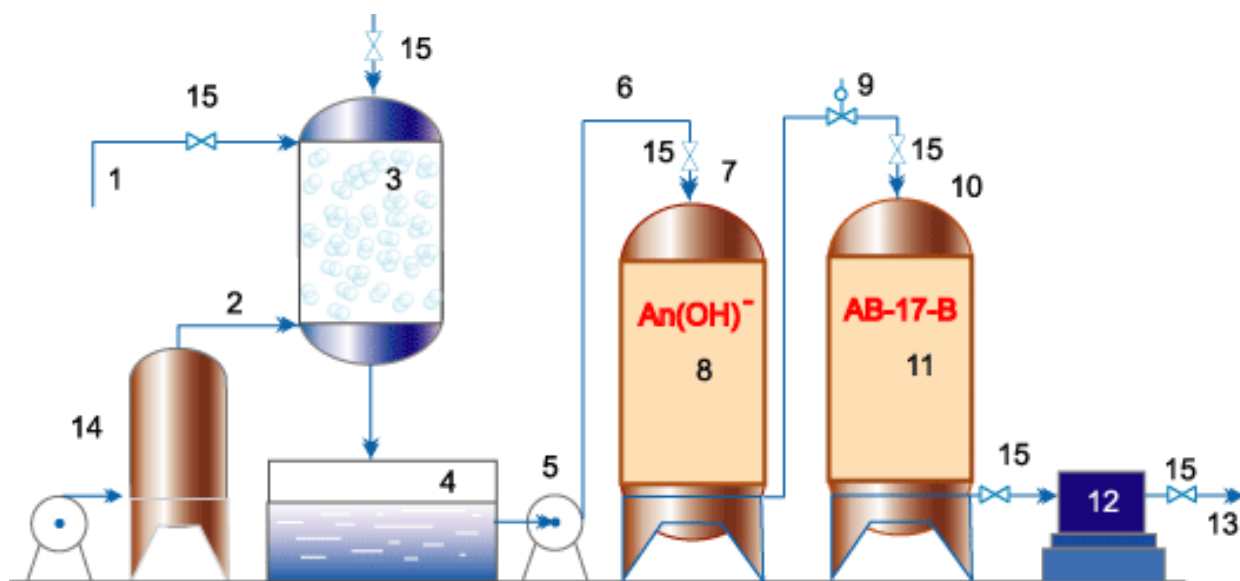


Рис. 3.16. Принципиальная технологическая схема удаления из подземных вод бора и брома
1 - подача подземной воды; 2 — подача сжатого воздуха; 3 - дегазационно-аэрационная колонна; 4 - бак для дегазированной воды; 5 - насос; 6 - подача воды на ОН-анионитовый фильтр; 7 - ОН-анионитовый фильтр; 8 - высокоселективная ионообменная смола «S-108» в ОН-форме; 9 - подача в обрабатываемую воду окислителя - активного хлора (Cl или NaClO); 10 - окислительно-сорбционный фильтр; 11 - сильноосновной анионит АВ-17-8 в Cl-форме; 12 - обеззараживание воды (УФ-лучами, хлором, озоном); 13 - подача воды в накопительную емкость и к потребителю; 14 - воздухоподводящая станция; 15 - запорно-регулирующая арматура

3.4.2. Удаление из воды тяжелых металлов

Многовалентные ионы «тяжелых» металлов (свинец, серебро, медь, титан, ванадий, вольфрам, молибден, бериллий, уран, никель, кобальт, ртуть, селен, стронций) могут быть удалены из воды осаждением в виде гидроокисей при подщелачивании воды известью или содой, а также при ее фильтровании через фильтры с загрузкой из магномассы. Гидроокиси металлов имеют очень низкую растворимость ($Pr_{Pb(OH)_2} = 1,1 \cdot 10^{-20}$, $Pr_{Cu(OH)_2} = 5,5 \cdot 10^{-20}$).

Цинк также удаляется осаждением в виде гидроокиси при подщелачивании воды известью ($Pr_{Zn(OH)_2} = 7,1 \cdot 10^{-18}$) или в виде карбоната при подщелачивании содой ($Pr_{ZnCO_3} = 1,45 \cdot 10^{-11}$).

Барий осаждается фосфатами ($Pr_{Ba_3(PO_4)_2} = 6 \cdot 10^{-30}$), серной кислотой или сульфатом натрия ($Pr_{BaSO_4} = 1,1 \cdot 10^{-10}$).

Извлечение из воды селена и стронция также рекомендуется производить сорбцией на свежееобразованном гидроксиде железа (III).

Большинство металлов (Ag, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn, Zn) хорошо выделяются из водных растворов в виде сульфидов при введении в воду сероводорода или сернистого натрия. Однако образующаяся коллоидная взвесь сульфидов этих металлов трудно осаждается и фильтруется. Поэтому при сульфидной очистки необходимо в каждом случае экспериментально подбирать тип и дозу коагулянта и условия осаждения.

Мышьяк в виде неорганических соединений удаляется соосаждением с гидроокисью железа (при обработке хлорным) или сернокислым железом (III) с подщелачиванием и продувкой воздухом. При удалении органических соединений мышьяка их предварительно окисляют хлором.

Все перечисленные выше загрязнения эффективно (на 90-98%) удаляются с помощью мембранных установок обратного осмоса. Ввиду достаточно высокой стоимости обратноосмотических систем, на небольших объектах водоснабжения (гостиница, частный дом, предприятие) используется обратноосмотические системы малой производительности (0,01-0,1 куб. м/час) для приготовления воды только для питьевых нужд. Для хозяйственно-бытовых нужд используется вода, содержащая Sr, As без специальной очистки.

3.4.3. Удаление нитратов, нитритов и аммония

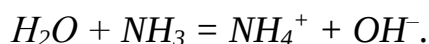
Очистка от нитратов и нитритов в последнее время эффективно ведется с помощью обратноосмотических установок. Следует учитывать, что селективность обратноосмотических мембран по одновалентным нитрат-ионам даже ниже, чем по Na-ионам и составляет 90-95%. Поэтому при обработке воды методом обратного осмоса ионы жесткости и сульфат-ионы удаляются на 96-98%, при этом образуется обессоленная вода. Для подготовки питьевой воды следует «корректировать» состав фильтрата обратноосмотических установок, обеспечивая требуемый уровень солесодержания, жесткости, фторидов и т.д.

Для удаления нитрат-ионов из воды используется также метод ионного обмена – фильтрование через анионит в Cl⁻-форме, регенерация которого производится поваренной солью, могут сорбировать ионы NO₃⁻ и обменивать их на ионы Cl⁻. Однако, на анионите в Cl⁻-форме сорбируются также анионы SO₄²⁻, поэтому содержание хлорид-ионов в воде, прошедшей через анионитовые фильтры в Cl⁻-форме, будет равняться суммарному содержанию анионов Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻. Поэтому метод ионного обмена применим для удаления нитратов в тех случаях, когда суммарное содержание в воде анионов не превышает ПДК по ионам Cl⁻ (по СанПиН – 350 мг/л).

Для стандартного сильноосновного анионита АВ-17-8 анион SO₄²⁻ имеет большее сродство, чем NO₃⁻, поэтому сульфат-ион может вытеснять нитрат-ион из анионита. После насыщения смолы по нитрат-ионам, сульфат-ионы, вытесняют нитрат-ионы в фильтрат. Поскольку смола сорбирует как нитрат-ионы, так и сульфат-ионы имеющие большее сродство емкость анионита АВ-17-8 по нитратам оказывается незначительной.

Для извлечения нитратов специально разрабатываются аниониты, селективность которых к нитратионам выше, чем к сульфатам (например, А-520Е фирмы Purolite IMAK HP555 фирмы Rohm & Haas).

Растворенный в воде аммиак находится в равновесии с ионом аммония:



Классическим методом удаления аммиака считается отдув аммиака и углекислоты в дегазаторе. Однако глубина удаления аммиака зависит от соотношения аммиака и аммония. Для перевода иона аммония в аммиак используется подщелачивание исходной воды. При высоких содержаниях ионов аммония в воде его удаление весьма проблематично.

Обратноосмотические мембраны низкого давления (10-16 бар) задерживают ионы аммония на 85-90%. Применение метода обратного осмоса для обработки вод осложняется необходимостью применения реагентов для предочистки (предотвращения образования на мембранах отложений карбоната кальция) и для удаления отложений с помощью химических регенераций. Кроме того, обратный осмос снижает солесодержание в 10-20 раз, что не всегда допустимо. Однако в ряде случаев представляется целесообразным использование установок обратного осмоса для обработки части воды и смешение фильтра обратного осмоса и исходной воды для достижения оптимального состава. Такая мера эффективна при превышении аммония в 1,5-2 раза норматива СанПиН.

Аммиак и аммонийные соли удаляются из воды различными методами. В основном принято удалять аммоний с помощью катионитов в натриевой, кальциевой или водородной форме. Для очистки от аммония часто применяют природные цеолиты – клиноптилолит и другие. Регенерацию катионитов ведут растворами поваренной соли. Однако, учитывая то, что ионы аммония сорбируются катионитом хуже, чем ионы кальция и магния, удаление аммония таким способом неэкономично и требует высоких затрат на реагенты (соль). Емкость катионита по ионам аммония оказывается незначительной.

Традиционно удаление ионов аммония из воды осуществляется хлорированием. В зависимости от условий хлорирования в воде могут образоваться хлорамины и молекулярный азот. Процесс удаления аммония ведут с избытком хлора за точкой перелома (окисления монохлораминов). На 1 мг азота расходуется 7,4 мг хлора. При использовании высоких доз хлора возникает опасность образования в воде канцерогенных хлорорганических соединений, поэтому применение такого метода удаления аммония производится в ограниченных случаях.

4.3.4. Удаление из воды кремниевой кислоты

Формы присутствия в воде кремниевой кислоты варьируются от коллоидной до ионнодисперсной в зависимости от ее температуры, pH и от соотношения различных примесей воды.

Воду, содержащую кремниевую кислоту, нельзя использовать для питания котлов высокого и сверхвысокого давления, в химико-фармацевтической промышленности, при производстве капрона и текстиля, при переработке цветных металлов, в питьевой воде содержание кремния также нормируется.

Обескремнивание воды достигается: *осаждением известью; сорбцией гидроксидами железа, алюминия, оксидом или гидроксидом магния; фильтрованием через магнезиальный сорбент; ионным обменом и электрокоагулированием.*

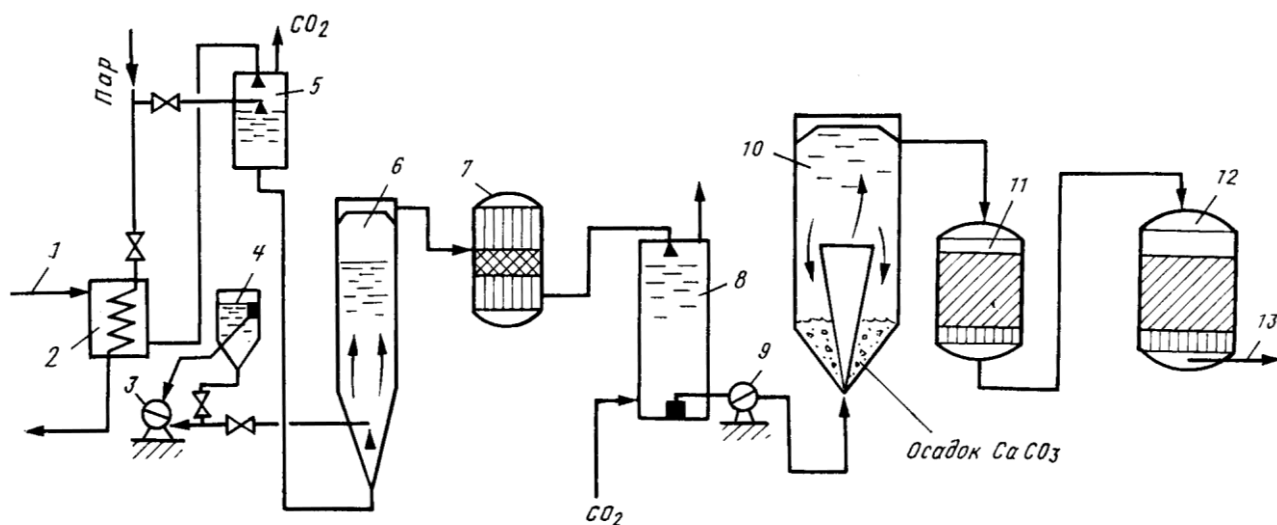


Рис. 3.17. Установка обескремнивания воды известью с подогревом:

1, 13 – подача исходной и отвод декремнизированной воды; 2 – теплообменник; 3 – насос-дозатор; 4 – бак известкового молока; 5 – дегазатор; 6 – сатуратор; 7 – фильтр с мраморной крошкой; 8 – скруббер; 9 – повысительный насос; 10 – напорный осветлитель; 11 – фильтр с мраморной (или антрацитово́й) крошкой; 12 – натрий-катионитовый фильтр с термостойким катионитом

Обескремнивание воды известью основано на небольшой растворимости силиката кальция. При наличии в исходной воде 10...12 мг/л кремниевой кислоты остаточное содержание ее в обработанной воде составляет 6...8 мг/л. С избытком извести и повышением температуры глубина обескремнивания возрастает. Так, если подлежащую обескремниванию воду нагреть в каскадном подогревателе до температуры 80...90°C и насытить известью в сатураторе (рис. 3.17), то при этом выпадают в осадок гидроксид магния, сорбирующий SiO_3^{2-} , силикат и карбонат кальция. Вода обескремнивается и частично умягчается.

Обескремнивание воды солями железа основано на способности хлопьев гидроксида железа (II), образующегося при введении в воду его солей, сорбировать молекулярно-дисперсную и коллоидную кремниевую кислоту.

Установка, используемая для обескремнивания воды сульфатом железа (II) или хлоридом железа (III), состоит из вертикального смесителя, дозаторов

реагента и известкового молока, осветлителя, фильтра и насоса для рециркуляции осадка. Благодаря рециркуляции осадка значительно снижается расход коагулянта.

На снижение содержания кремниевой кислоты с 12...14 до 2 мг/л расходуется 300...350 мг сульфата железа (II). Оптимальные значения pH (8,5...9,5) поддерживаются добавлением в воду извести.

Обескремнивание воды солями алюминия основано на их способности сорбировать кремниевую кислоту из раствора. В качестве реагентов применяют алюминат натрия и сульфат алюминия.

Концентрация остаточной кремниевой кислоты при использовании алюмината натрия составляет 0,5...2 мг/л; расход алюмината – 150...200 мг/л. Применение вместо алюмината натрия более дешевого сульфата алюминия уменьшает глубину декарбонизации и увеличивает содержание сульфатов, что нежелательно для вод, идущих на питание паровых котлов.

Высокой сорбционной способностью по SiO_3^{2-} обладают *хлоры алюмината магния*, образующиеся при одновременном введении в воду солей магния и алюмината натрия при pH свыше 8,5. Для получения оптимального значения pH воду подщелачивают.

Перечисленные методы имеют недостатки, среди которых наиболее значительными являются большой расход и высокая стоимость реагентов, а также увеличение количества сухого остатка декремнизированной воды.

При *фильтрационном методе обескремнивания воды* фильтры *загружаются* магнезиальными сорбентами (*полуобожженным доломитом*, а также специальным сорбентом, получаемым обработкой измельченного каустического магнезита соляной кислотой), *активированным оксидом алюминия, бокситами*. Технология получения магнезиального сорбента следующая: смесь каустического магнезита с соляной кислотой или хлоридом магния, имеющую консистенцию теста, высушивают при температуре 80...100°C, измельчают и просеивают. Полученный магнезиальный сорбент представляет собой зерна светлосерого цвета крупностью 0,5...1,5 мм. Массовое отношение Mg/Cl в сорбенте примерно составляет 1,5:1, а его насыпная масса 0,75...0,85 т/м³. Сущность обескремнивания воды фильтрованием через такой сорбент заключается в образовании мало растворимого в воде силиката магния.

При высоте слоя сорбента в фильтре 3,4...4,0 м, температуре воды до 40...50°C и скорости фильтрования до 10 м/ч, содержание кремниевой кислоты в воде снижается до 0,1...0,3 мг/л. Один кубометр сорбента поглощает до полного истощения 90 кг SiO_2 .

Недостаток метода заключается в необходимости через каждые шесть месяцев (при среднем содержании в исходной воде до 10 мг/л SiO_2) менять загрузку фильтра, поскольку сорбент не регенерируется.

Большой практический интерес представляет использование активированного оксида алюминия и бокситов в качестве загрузки обескремнивающего фильтра. При скорости фильтрования 5...6 м/ч слой сорбента толщиной 1,5 м снижает содержание кремниевой кислоты до 0,1...0,5

мг/л. Фильтр регенерируется 0,1%-ным раствором щелочи. За один цикл 1 м³ активированного оксида алюминия поглощает из воды 10...12 кг SiO₃²⁻. Большое преимущество фильтрационного метода заключается в компактности установок и простоте их обслуживания.

Анионитовый метод обескремнивания воды в цикле ионитового обессоливания с сильноосновными анионитами обеспечивает снижение концентрации кремнекислых соединений до 0,03...0,05 мг/л.

Сущность анионитового метода обескремнивания и одновременного обессоливания воды заключается в следующем: воду пропускают через Н-катионитовые фильтры, где из нее извлекаются катионы Ca(II), Mg(II), K(I) и Na(I). Затем вода проходит через фильтры со слабоосновным анионитом, где она избавляется от анионов сильных кислот (SO₄²⁻, Cl⁻, NO₂⁻). После дегазации воды для удаления из нее оксида углерода (IV) ее пропускают через фильтры с сильноосновным анионитом, где удаляется слабая кремниевая кислота. Для получения воды с общим содержанием соли менее 1 мг/л, в том числе с общим содержанием кремниевой кислоты менее 0,03 мг/л, применяют трехступенчатые схемы ионирования. К недостаткам этого метода следует отнести его сравнительно высокую стоимость, что объясняется большим расходом едкого натра на регенерацию и быстрым уменьшением в процессе эксплуатации кремнеемкости высокоосновных анионитов. Это вынуждает заменять их через каждые 1,5...2 года.

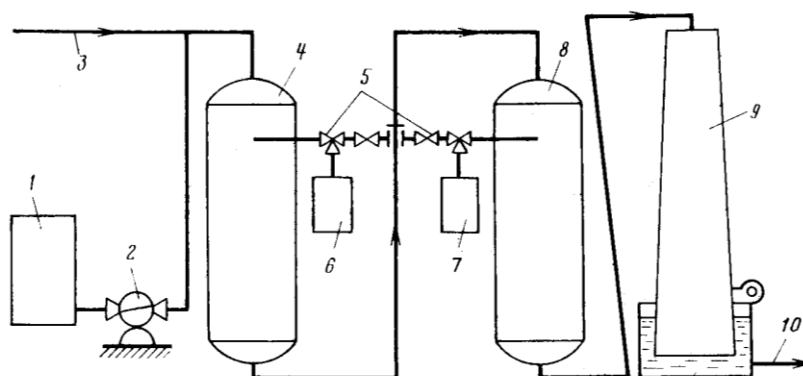
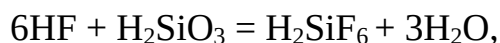
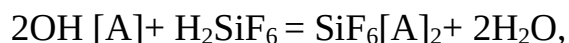


Рис. 3.18. Схема обескремнивания воды фторидным методом:

1 – бак с раствором фторида натрия; 2 – насос-дозатор; 3, 10 – подача исходной и отвод обессоленной и декремнизированной воды; 4 – водород-катионитовый фильтр; 5 – эжектор; 6, 7 – бак с раствором щелочи и серной кислоты; 8 – ОН-анионитовый фильтр; 9 – дегазатор

Фторидный метод обескремнивания воды (рис. 3.18) специальными реагентами дает возможность использовать слабоосновные аниониты. Этот метод состоит в том, что дозируемые в обрабатываемую воду плавиковая кислота или фторид натрия переводят кремниевую кислоту в сильную кремнефтористоводородную, которая достаточно полно поглощается слабоосновными анионитами:





В современных схемах водоподготовки для паровых котлов кремнекислота эффективно удаляется методом обратного осмоса.

3.5. Мембранные технологии очистки подземных вод

Обратный осмос – наиболее быстро развивающийся и перспективный мембранный процесс. Сущность процесса состоит в пропускании воды под давлением через полупроницаемые полимерные мембраны, мембраны, которые пропускают молекулы воды, а задерживают растворенные ионы солей.

Первоначально процесс обратного осмоса разрабатывался для опреснения подземных и морских вод. Отличительной чертой процесса являлись высокие значения приложенных давлений – 50-60 бар, что вызывало высокую стоимость оборудования, насосного, водораспределения и др. Прогресс в области производства мембран привел к созданию низконапорных мембран, работающих под низким давлением. Снижение величин рабочих давлений привело к значительному удешевлению и упрощению систем обратного осмоса.

В настоящее время обратноосмотические установки используются для обессоливания воды, вытесняя традиционные методы – ионный обмен, дистилляцию. Невысокая стоимость и простота мембранных систем сделали метод обратного осмоса конкурентоспособным с традиционными установками водоподготовки. Высокая эффективность в задержании органических веществ (образующих цветность воды) бактерий, вирусов, жесткости железа делает его перспективным для подготовки питьевой и технической воды.

Широко распространен процесс, получивший название «наночистка» – разновидность обратного осмоса, в которых используются поры более крупного размера. Такие поры задерживают «крупные» многовалентные ионы железа, кальция, стронция, хрома, сульфат-ионы и т.д. на 80-90%, но слабо задерживают одновалентные ионы натрия, хлорида, бикарбоната – на 30-50%.

При проведении процесса обратного осмоса растворенные вещества (ионы солей) задерживаются мембраной, и далее с частью потока исходной воды сбрасываются (концентрат), а молекулы воды проникают через мембрану (фильтрат). Молекулы растворенной соли накапливаются у поверхности мембраны, где её концентрация постепенно возрастает. Однако повышение концентрации соли у поверхности вызывает диффузию ионов от поверхности в объем раствора. Таким образом, в системе устанавливается стационарное состояние. Конвективный поток растворенной соли к мембране уравнивается суммой потоков через мембрану и от поверхности мембраны в объем раствора. В результате, вблизи поверхности мембраны образуется

пограничный слой, в котором значение концентрации соли увеличивается по мере приближения к мембране. Этот эффект называется концентрационной поляризацией и является одной из причин, вызывающей выпадение (кристаллизацию) малорастворимых солей на поверхности мембраны (рис. 3.19).

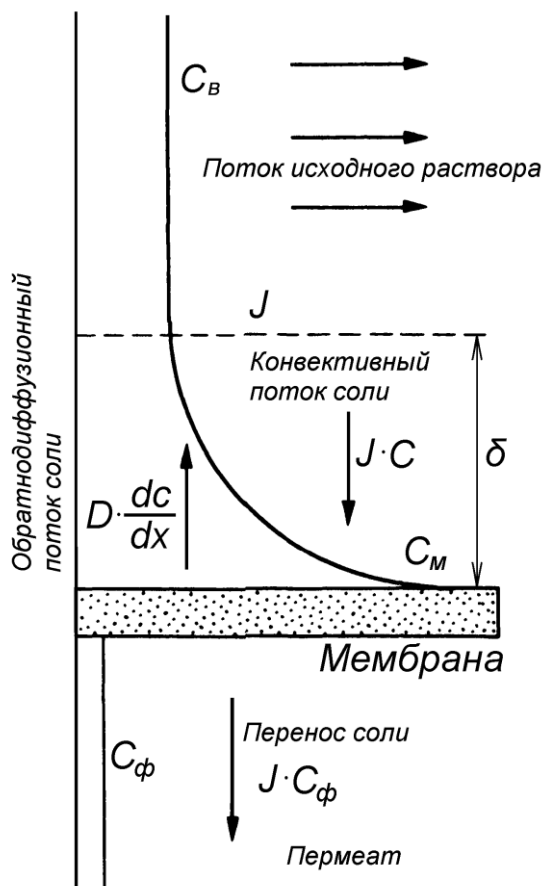


Рис. 3.19. Распределение задерживаемого мембраной вещества у поверхности мембраны.

Уровень концентрационной поляризации можно снизить, увеличивая скорость движения раствора вдоль мембраны, за счет изменения формы и размеров модуля, снижая длину модуля или уменьшая сечение. Кроме того, для улучшения массопереноса можно «разрушить» пограничные слои с помощью «турбулизаторов» – сетчатых вставок в канал.

Широко известным материалом мембран для обратного осмоса являются эфиры целлюлозы, в частности, диацетат целлюлозы и триацетат целлюлозы, ароматические полиамиды, полисульфонамид, полиэфирсульфон, фторопласты и другие. Различают два основных типа мембран: ассиметричные мембраны и композитные мембраны.

Мембраны помещают в аппарат, работающий под давлением. Аппараты типа *фильтр-пресс* используют плоские листовые мембраны и представляют собой первые конструкции обратноосмотических аппаратов. Сборка фильтр-прессного аппарата состоит из нескольких плоских дренажных плит, на

которые укладываются плоские мембраны, и специальных рамок, помещаемых между дренажными плитами. Рамка, помещенная между двумя мембранами, образует канал. В рамках сделаны отверстия и протоки для распределения исходной воды и сбора фильтрата. Вся конструкция собирается из чередующихся дренажных плит и рамок, которые прижимаются друг к другу с помощью стяжных болтов и фланцевых плит. Такие аппараты очень дороги, что ограничивает их применение в основном в системах очистки обратного осмоса малой производительности, а чаще – в системах ультрафильтрации.

Рулонные элементы являются в настоящее время наиболее распространенной конструкцией. За многие годы конструкция многократно совершенствовалась с целью улучшить геометрию каналов и потокораспределение, испытывались новые сепараторы-турбулизаторы, дренажные материалы, клеи и т.д.

Рулонные элементы изготавливаются из плоских мембран, которые оборачиваются вокруг перфорированной трубки для сбора очищенной воды. Мембраны склеиваются в «пакеты», которые приклеиваются одной кромкой к перфорированной фильтратоотводящей трубке и оборачиваются вокруг нее. Каждый пакет состоит из двух листов мембран, между которыми проложена специальная дренажная ткань для сбора и отвода фильтрата, а края пакета проклеены специальными эпоксидным клеем. Клей наносится по краям мембран в процессе закручивания «пакетов» вокруг фильтратоотводящей трубки. Между «пакетами» прокладывается сепараторная сетка, которая обеспечивает прохождение потока исходного раствора между мембранами. Таким образом, канал для прохождения обессоливаемой воды, образуется сепараторной сеткой, проложенной между двумя мембранами, играющей роль также и турбулизатора потока (рис. 3.20).

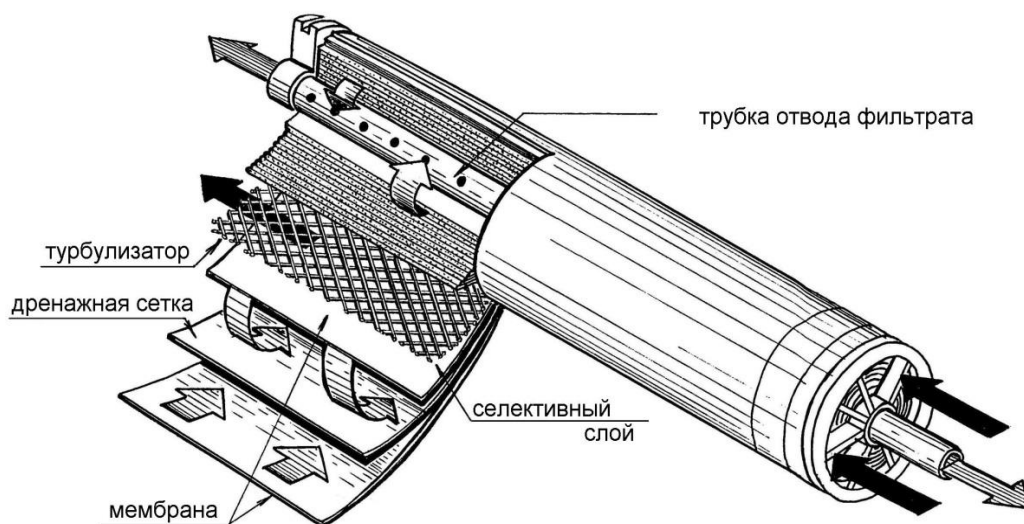
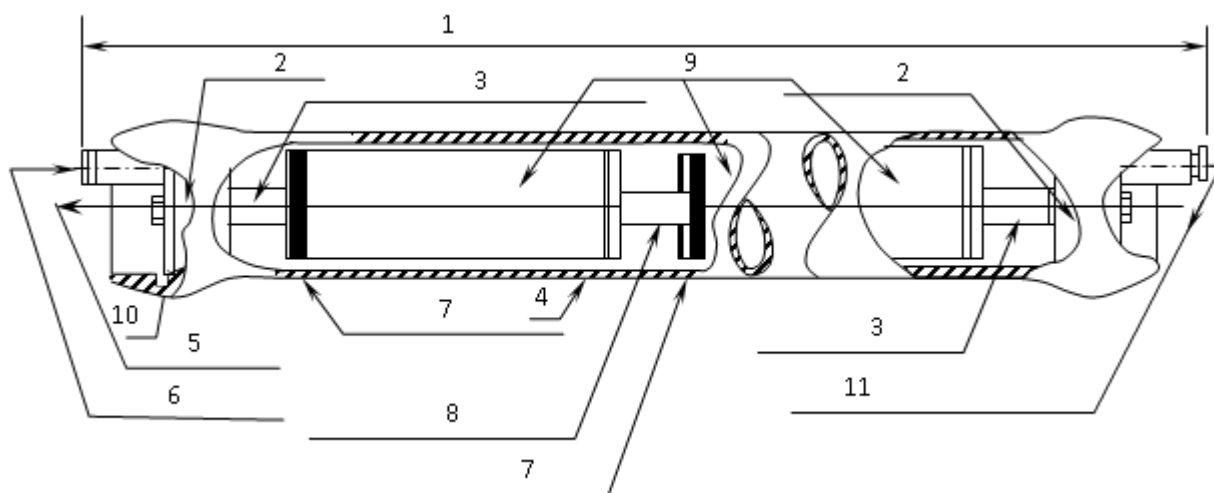


Рис. 3.20. Устройство рулонного фильтрующего элемента.



*Рис. 3.21. Устройство мембранного аппарата: рулонный элемент, помещенный в корпус.
 1 – длина корпуса; 2 – крышка; 3 – адаптер; 4 – корпус; 5 – выход фильтрата; 6 – патрубок подачи исходной воды; 7 – «ласточкин хвост»; 8 – соединительная муфта; 9 – рулонные мембранные элементы; 10 – «канавка» для стопорного кольца; 11 – патрубок выхода концентрата*

Обессоленная вода проходит через мембрану внутрь «пакета» и, проходя по дренажному слою, по спирали проходит к центральной фильтратоотводящей трубке, собирается в ней через перфорированные отверстия и выводится из аппарата.

Рулонные элементы помещают в напорные корпуса, от одного до семи элементов друг за другом. Существуют разнообразные конструкции для крепления элементов в напорном корпусе (рис. 3.21). Каждый отдельный элемент обычно рекомендуется помещать в корпусе установки таким образом, чтобы соотношение количества обессоленной воды, прошедшей через мембраны (фильтрата) и исходной воды, поступающей в аппарат, в единицу времени было 1:10. Это определяется гидродинамическими характеристиками мембран и явлением концентрационной поляризации, уровень который должен быть сведен к минимуму. Поэтому, для того, чтобы в промышленных установках обеспечить соотношение расходов фильтрата и концентрата на уровне 1:1,5 или 1:2, мембранные аппараты komponуются таким образом, что путь воды составляет до 18 м. Такое подключение называется «елочкой», т.к. по мере увеличения расхода фильтрата уменьшается число параллельно работающих аппаратов (рис. 3.22).

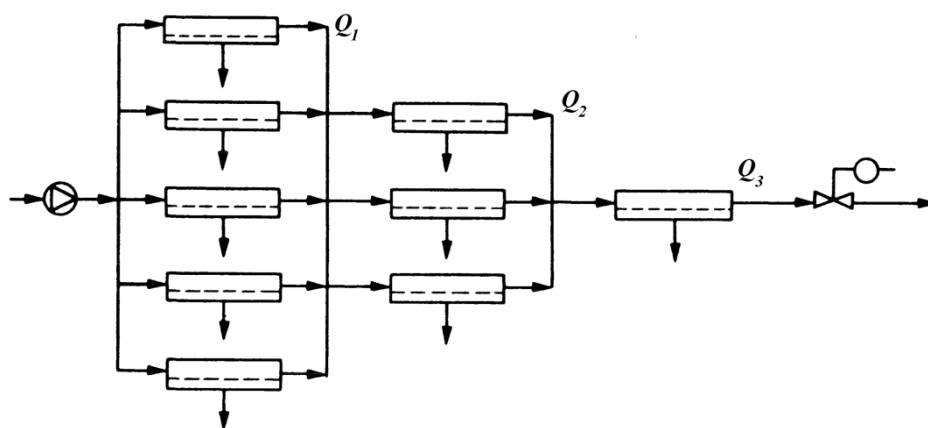


Рис. 3.22. Коническая каскадная однократная схема («елочка»).

Рулонные элементы оказались наиболее удобными в эксплуатации. Элементы легко подвергать химической регенерации (промывке), легко производить замену элементов в установке. Конструкции и размеры элементов унифицированы, поэтому возможно покупать элементы одинаковых типоразмеров от различных производителей.

В мембранных аппаратах могут также использоваться мембраны в виде *полых волокон* (трубчатой формы). Волокна изготавливаются с внутренним диаметром от 19 до 70 мкм и наружным от 85 до 160 мкм. Исходная вода фильтруется снаружи внутрь волокна. Располагают полые волокна в аппарате таким образом, чтобы все они располагались параллельно перфорированной распределительной трубке, проходящей по оси аппарата (рис. 3.23).

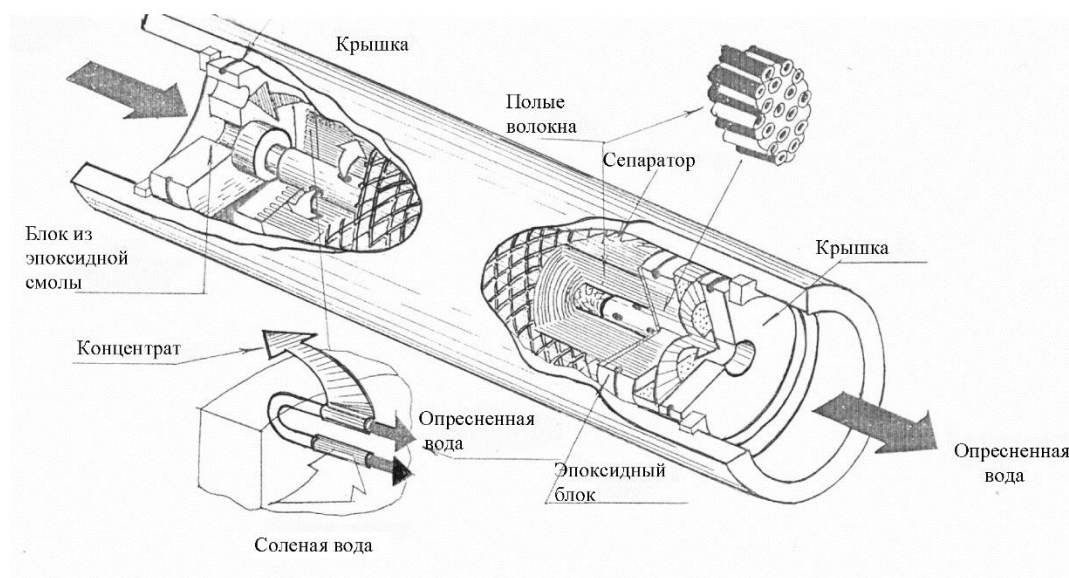


Рис. 3.23. Устройство аппарата с мембранами в виде полого волокна.

Концы волокон с обеих сторон аппарата заключаются в «монолитные блоки» из эпоксидной смолы. С одной стороны бок делают «глухим», с другой

стороны волокна проходят «насквозь» через блок. После отверждения блока концы волокон обрезают. Таким образом, фильтрат отводится с торца аппарата.

Исходная вода поступает в перфорированную трубку по оси аппарата и радиально движется от центра к краям аппарата. Концентрат отводится через зазор между «глухим» блоком и корпусом, а фильтрат через торец фильтратоотводящего блока собирается в пористом фильтратосборном блоке и через фильтратоотводящую трубку выводится из аппарата.

Аппарат помещается в напорный трубчатый корпус, с торцов закрытый круглыми крышками с уплотнительными манжетами. Исходная вода, фильтрат и концентрат подаются через специальные патрубки, соединенные с торцевыми крышками.

В последнее время аппараты обратного осмоса с полым волокном полностью вытеснены рулонными элементами. Однако конструкция аппаратов с полыми волокнами большого диаметра (так называемыми капиллярными) в настоящее время широко и успешно применяется в ультрафильтрации благодаря возможности проведения гидравлических промывок.

С первых шагов внедрения мембранных установок обнаружилась проблема образования на мембранах осадков различных веществ, содержащихся в обрабатываемой воде. Поэтому необходимым условием надежной работы любой мембраной установки является тщательная предочистка, позволяющая предотвратить осадкообразование на мембранах.

Основными видами осадков на мембранах являются:

1. Осадки малорастворимых в воде солей (карбонат кальция, сульфат кальция, силикат кальция)
2. Осадки взвешенных и коллоидных веществ (гидроокись железа, частицы глины, ила, коллоидная гидроокись алюминия)
3. Осадки биологического происхождения
4. Осадки высокомолекулярных органических веществ (гуминовых и фульвокислот, образующих цветность).

Кроме того, на композитные и полиамидные мембраны разрушительное действие оказывает свободный хлор.

Основной причиной образования осадков малорастворимых солей в аппаратах обратного осмоса является пересыщение раствора, то есть состояние системы, при котором содержание ионов, образующих соль, превышает пределы растворимости.

Пересыщение раствора в процессе обратного осмоса возникает в связи с явлением концентрационной поляризации у поверхности мембраны, а также благодаря концентрированию раствора в аппаратах.

В основе механизмов образования коллоидных и органических осадков на мембранах лежат механизмы адгезии частиц к мембране, коагуляции и

Осадкообразование на мембранах приводит к уменьшению производительности мембран и потере ее селективных свойств.

При образовании на поверхности мембраны осадка толщина пограничного слоя увеличивается на высоту слоя осадка, поэтому перенос соли от

поверхности мембраны в ядро потока за счет диффузии в таких условиях значительно затрудняется, по сравнению с режимом без осадка. Уменьшение селективности происходит за счет увеличения концентрации у поверхности мембраны вследствие развития концентрационной поляризации. Увеличение концентрации солей у поверхности мембраны ведет к снижению ее производительности за счет увеличения осмотического давления раствора.

Для удаления загрязнений из воды или предотвращения их образования на мембранах используется ряд технологических процессов и соответствующих аппаратов (сооружений).

При высоких значениях мутности и цветности для эффективного ведения процесса коагуляции используют осветлители с взвешенным осадком. Обязательным требованием предочистки является прохождение уже очищенной воды через патронные фильтры с размером пор 5 микрон для улавливания крупных частиц перед поступлением воды в насосы высокого давления и далее – в мембранные аппараты. Для предварительной очистки поверхностных вод перед подачей на установки обратного осмоса в современных технологических схемах используются системы ультрафильтрации.

Из солей, плохо растворимых в воде, наиболее для мембран опасны (в порядке возрастания): карбонат кальция, сульфат кальция, силикатные осадки, сульфат бария, сульфат стронция, фторид кальция.

Предотвращение образования карбоната кальция на мембранах может достигаться дозированием кислоты в исходную воду или умягчением исходной воды. В настоящее время проблема осадков карбоната и сульфата кальция чаще всего решается с помощью дозирования в исходную воду ингибиторов – органических полимеров, присутствие которых в исходной воде замедляет процесс образования отложений. Ингибиторы дозируются в очень малых количествах – от 3 до 10 мг на 1 литр исходной воды, при этом дают очень высокий эффект замедления образования осадка. При этом срок непрерывной эксплуатации мембранных установок составляет 500 – 2000 часов. По истечении этого срока необходимо провести химическую регенерацию мембран, заключающуюся в растворении отложений специальными растворами. Основные распространенные классы ингибирующих веществ, это полифосфаты, полимеры на основе акриловой кислоты (полиакрилаты), поликарбоксилаты, фосфонаты (полимеры на основе фосфорной кислоты и ее солей). Смеси поликарбоксилатов и фосфонатов, а также сополимеры сульфоновой и акриловой кислоты.

Дизайн установки зависит от ее назначения и заданных параметров: производительности, выхода фильтрата, а так же типа аппаратов, и их конфигурации. Главной частью установки является мембранный модуль, представляющий собой один или несколько (до 7) рулонных элементов, помещенных в напорный корпус. Задача инженера – собрать модули таким образом, чтобы получить оптимальное распределение потоков,

соответствующее минимальному гидравлическому сопротивлению и минимальной степени концентрационной поляризации.

Распределение потоков в установке является важным фактором, определяющим надежность последующей эксплуатации. В установках обратного осмоса используются две базовые конфигурации потоков:

- 1) прямоточная система;
- 2) система с рециркуляцией.

В прямоточной системе очищаемая вода проходит через мембранные модули. По мере продвижения воды от входа к выходу из модуля расход транзитного потока концентрата уменьшается. Для того чтобы снизить опасность развития концентрационной поляризации, используется многоступенчатая схема подключения модулей «елочкой». При такой конфигурации система спроектирована так, чтобы скорость потока в аппаратах была одинаковой.

В случае использования рециркуляционной системы, концентрат с заданным высоким расходом проходит через аппарат, и основная часть концентрата возвращается в голову установки, а часть концентрата идет на сброс. Схема с рециркуляцией обычно используется в небольших установках, состоящих из 1-2-х модулей, где невозможно организовать многоступенчатую прямоточную схему.

Все крупные системы обратного осмоса (25-500 м³/ч) работают в соответствии с «прямоточной» схемой: исходная вода подается рабочим насосом высокого давления в установку, где разделяется на 2 потока – фильтрат и концентрат.

На рис. 3.24 представлена схема обратноосмотической установки, содержащая оборудование для предотвращения осадкообразования на мембранах (системы дозирования ингибиторов и моющих контур для растворения осадков).

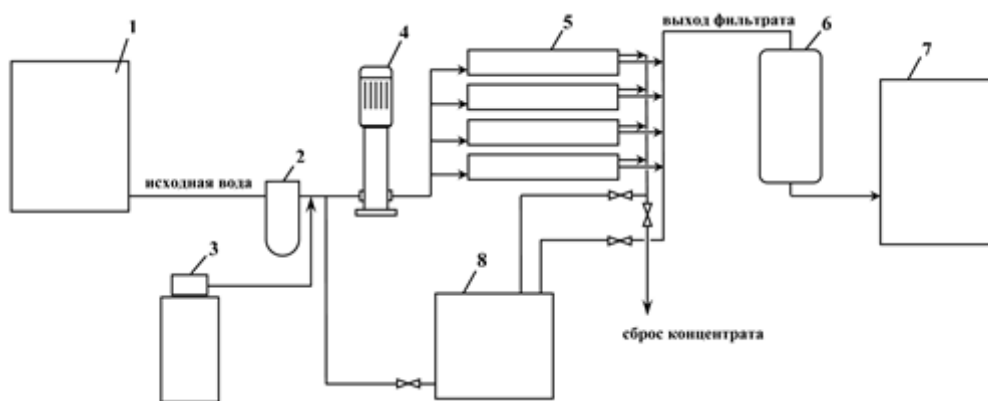


Рис. 3.24. Схема обратноосмотической установки для обессоливания воды:

1 - предочистка; 2 - патронный фильтр 100 мкм; 3 - дозирование ингибитора или кислоты; 4 - центробежный многоступенчатый насос; 5 - мембранный элемент; 6 - ионообменные фильтры доочистки; 7 - бак обессоленной воды; 8 - бак для химической промывки мембран.

РАЗДЕЛ 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДООЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

4.1. Обработка промывных вод фильтровальных сооружений

4.1.1. Введение

При очистке природных вод образуются сточные воды, состав и вид которых зависит от качества обрабатываемой природной воды, состава и эффективности работы сооружений, вида применяемых реагентов и других факторов. Основной объем сточных вод представляют промывные воды фильтровальных сооружений, расход которых составляет от 5 до 12 % от производительности станции.

Обработка промывных вод и осадков водопроводных станций, их утилизация и предотвращение экологического ущерба является актуальной задачей, решение которой для многих водопроводных станций представляет серьезную проблему.

Несмотря на рекомендации СП и наличие в типовых, а также в индивидуальных проектах технических решений по обработке промывных вод, фактически очистка и последующее использование промывных вод осуществляется лишь на немногих водопроводных станциях. И в подавляющем большинстве случаев обработка промывных вод на станциях упрощена и сводится лишь к их усреднению, задержанию вынесенной загрузки фильтров и более-менее равномерному направлению в «голову» очистных сооружений.

В ряде случаев добавление промывных вод улучшает очистку основного потока исходной воды, но колебания качества и расхода промывных вод усложняют контроль работы блоков очистных сооружений, принимающих промывные воды, в особенности режим реагентной обработки воды.

На многих станциях промывные воды сбрасываются либо в канализационную сеть, либо в пруды-накопители, и, наконец, в водоемы. Очевидно, что все эти решения нуждаются в пересмотре и поиске более рациональных схем утилизации производственных стоков. Проблема загрязнения поверхностных водоемов промывными водами с каждым годом приобретает все большую актуальность в связи с ужесточением экологических требований. Сброс сточных вод станций водоподготовки в поверхностные источники приводит к их загрязнению продуктами реагентной обработки и снижению эффективности процессов самоочищения водоема.

Прием сточных вод после промывки фильтров в хозяйственно-бытовую канализацию населенного пункта является наиболее простым и дешевым решением при отсутствии сооружений по обработке оборотной воды, однако прием большого количества промывных вод разбавляет сточные воды и вносит значительное количество алюминия, что может негативно сказаться на процессе биологической очистки.

4.1.2. Анализ качества промывных вод скорых фильтров

Как уже было сказано выше, качество и количество образующихся промывных вод зависит от состава поверхностных вод (или подземных вод – для станций обезжелезивания), технологии очистки, эффективности работы сооружений (главным образом, отстойников), режима промывки фильтров.

Сточные воды и осадки водопроводных станций содержат примеси воды, скоагулированные гидроокислами алюминия или железа в хлопья, которые объединены в крупные агрегаты макроионами полимерных флокулянтов. Таким образом, технологические сбросы станций очистки природных вод представляют собой сложные органоминеральные системы, различные по своим свойствам и составу, образованные продуктами гидролиза коагулянтов и основных загрязнений природных вод. Соотношение их составляющих компонентов и свойства обуславливаются характером водоисточника и могут быть выражены такими показателями качества исходной воды как цветность и мутность. В общем случае при увеличении отношения цветности к мутности водоисточника увеличивается содержание органических веществ и гидроокиси алюминия в сточных водах и осадках, возрастает содержание свободной и связанной воды. Наибольшие затруднения возникают при обработке и утилизации технологических сбросов маломутных цветных вод, обусловленные высоким содержанием гидроокиси алюминия, органических веществ и низкой водоотдающей способностью осадков.

Основными показателями, характеризующими состав промывных вод, являются содержание взвешенных веществ и алюминия, а также цветность, железо, микробиологические (ОМЧ, коли-индекс) и гидробиологические показатели (фитопланктон), сухой остаток и др. Для качественного состава промывных вод характерно изменение по сезонам года, мутность и цветность их изменяется пропорционально изменению мутности исходной воды.

Промывные воды при использовании источников, относящихся к классу цветных со средней мутностью, содержат большое количество взвешенных веществ (100 до 400-600 мг/л), алюминий, изменяющийся в широких пределах (от 0,5 до 20–30 мг/л и выше), органические загрязнения, адсорбированные гидроокисью алюминия. Цветность и окисляемость в промывной воде контролируются редко, их содержание, как правило, увеличивается не так существенно по сравнению с взвешенными веществами и алюминием.

При очистке маломутных малоцветных и цветных вод (р. Москва, р. Волга, р. Ока) содержание взвешенных веществ в промывных водах обычно не более 100 мг/л, в среднем 10 – 50 мг/л, содержание алюминия от 1 до 10 мг/л с отдельными выбросами свыше 10 мг/л. Цветность промывной воды, как правило, не превышает цветности исходной речной воды.

Содержание алюминия также изменяется по сезонам года, наиболее высокие концентрации наблюдаются при обработке воды с высокой цветностью и низкими температурами, близкими к 0 °С. Между содержанием

взвешенных веществ и алюминия прослеживается линейная зависимость: с увеличением мутности растет остаточный алюминий в промывной воде.

В промывных водах присутствуют микробиологические загрязнения, в том числе споры сульфитредуцирующих клостридий, колиформные бактерии, однако при нормально работающих коагуляционно-отстойных сооружениях, при предварительном обеззараживании исходной воды, по бактериологическим показателям промывная вода превосходит воду из поверхностного источника. Вместе с тем следует отметить и нестабильность бактериологических показателей при обороте промывной воды, особенно в периоды большой бактериологической нагрузки на сооружения.

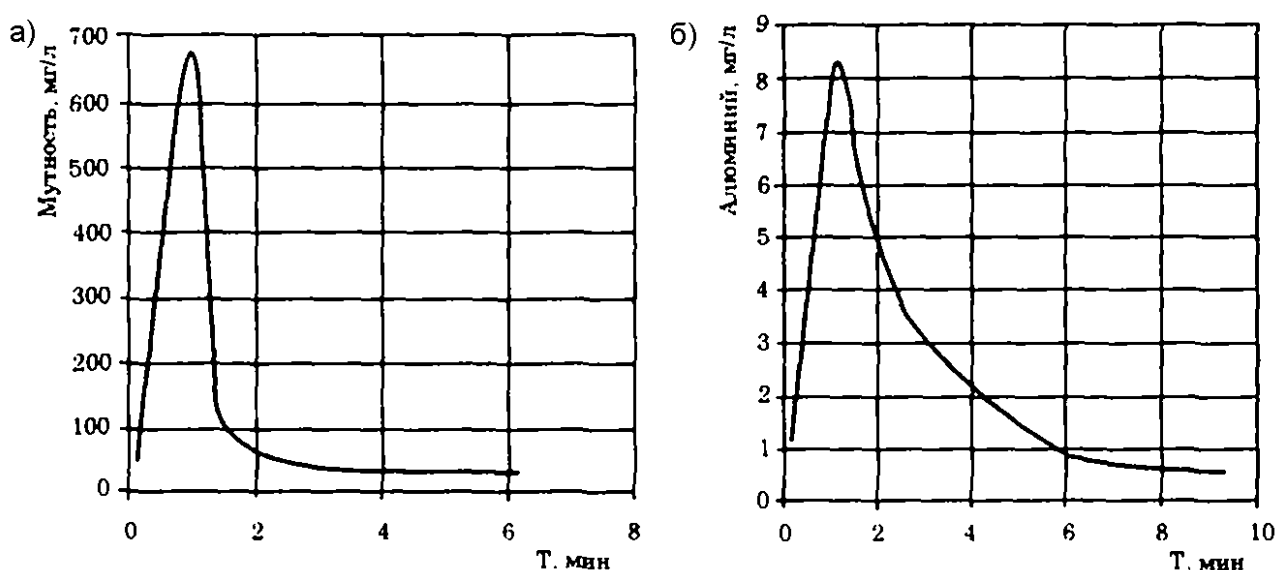


Рис. 4.1. Зависимость а) мутности; б) содержания Al^{3+} в промывной воде скорых фильтров от продолжительности промывки.

Характерной особенностью технологических стоков от промывки фильтров являются значительные колебания их расхода (залповые сбросы), а также значительное колебание их качества в течение сброса. Характерное для цветных маломутных вод изменение качества промывной воды в течение промывки для скорого фильтра по показателям взвешенных веществ и остаточного алюминия представлено на рис. 4.1. Максимум концентрации загрязнений достигается в среднем через минуту с начала промывки.

Другие очевидные закономерности наблюдаются при сравнении промывных вод фильтров с различной грязеемкостью и при использовании различных режимов промывки. Так повышенные концентрации взвешенных веществ и алюминия характерны для крупнозернистых фильтров и в случае применения водо-воздушной промывки.

4.1.3. Влияние возврата промывных вод на работу очистных сооружений водопроводной станции

Учитывая огромные объемы сбросов и потребляемых реагентов, промывные воды необходимо либо очищать перед сбросом в водоем, либо использовать повторно. Согласно СП 31.13330.2012 при двухступенчатых схемах очистки воды промывные воды фильтров и осветленную воду, выделившуюся в процессе сгущения и обезвоживания осадков, надлежит направлять в трубопроводы перед смесителями или в смесители. В случае одноступенчатой схемы водоподготовки промывные воды контактных осветлителей или фильтров следует отстаивать. Для интенсификации процесса осветления рекомендуется дозирование флокулянта перед отстойниками промывных вод.

Влияние добавления необработанных промывных вод неоднозначно: эффективность работы основной технологической цепочки будет зависеть от составов исходной и промывной воды и от количества последней.

Взвешенные вещества, содержащиеся в промывных водах, при условии коагуляционной обработки исходной воды, обладают способностью достаточно быстро агломерироваться в крупные хлопья, обладающие высокой седиментационной способностью. Отстаивание промывных вод скорых фильтров в статических условиях показывает, что большая часть взвеси выпадает в осадок в течение 20 – 35 мин после начала отстаивания. При дальнейшем отстаивании содержание взвешенных веществ изменяется мало и составляет 15-30 мг/л (рис. 4.2).

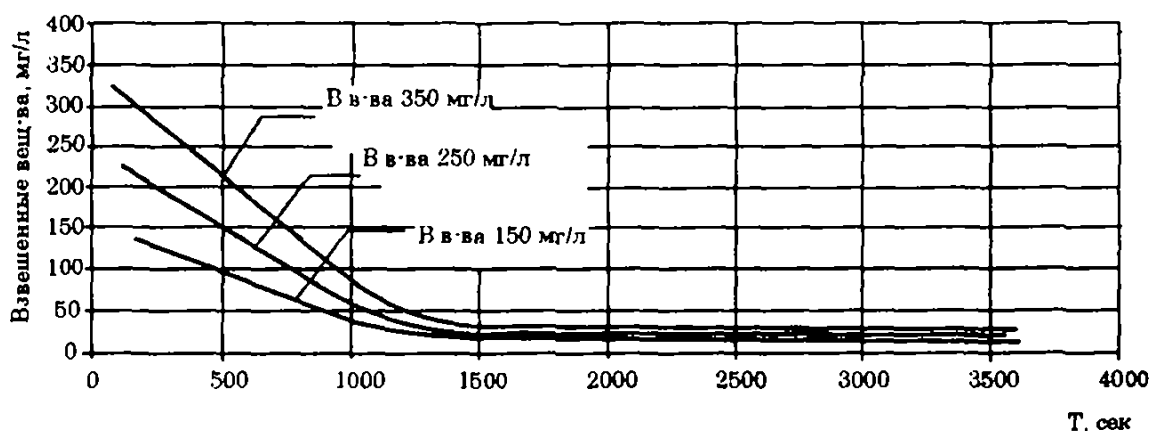


Рис. 4.2. Зависимость содержания взвешенных веществ в промывной воде от времени отстаивания в условиях обработки исходной воды сернокислым алюминием и ПАА.

В то же время ряд авторов отмечает, что промывные воды фильтров часто отличаются невысокой плотностью хлопьев взвеси (даже после применения полиакриламида при их отстаивании), особенно при обработке маломутной, цветной, слабоминерализованной исходной воды. Перемешивание в сбросных трубопроводах и центробежных насосах размельчает хлопья и дополнительно ухудшает седиментационные свойства взвешенных частиц. Это приводит к низкой степени извлечения хлопьев взвеси на традиционных сооружениях

первой ступени очистки и ухудшением вследствие этого основного процесса обработки воды.

Положительный эффект от добавления оборотной воды к исходной наблюдается при малой мутности исходной воды, низких температурах и повышенной цветности. В таких условиях процесс коагуляционной обработки наиболее затруднен и осложняется необходимостью применением повышенных доз коагулянта для снижения цветности и окисляемости. В этих условиях добавляемая оборотная вода действует как замутнитель, снижает цветность и бактериальную загрязненность исходной воды. При обработке холодных маломутных вод с низкой и средней цветностью (от 20 до 100 град) с добавлением неосветленной промывной воды положительный эффект достигается только при использовании оксихлорида алюминия.

Таким образом, содержание взвешенных веществ в оборотной воде при условии обработки маломутных цветных вод играет в целом положительную роль. В связи с этим в проектных решениях рекомендуется использовать промывную воду в качестве замутнителя. С другой стороны, повторное использование промывных вод предполагает изначальное ухудшение качества исходной воды перед очистными сооружениями, из-за внесения в нее несвойственных фоновому гидрохимическому составу токсичных веществ, в первую очередь, остаточного алюминия, содержание которого в питьевой воде должно быть минимальным. При решении задачи оптимального соотношения исходной и оборотной воды перед очистными сооружениями, с точки зрения обеспечения качества питьевой воды после них, необходимо находить условия максимального улучшения условий коагулирования примесей воды за счет внесения взвеси при минимальном внесении соединений алюминия.

При обработке холодных маломутных вод с низкой и средней цветностью (от 20 до 100 град) с добавлением неосветленной промывной воды положительный эффект (такие показатели, как остаточный алюминий, мутность, цветность, перманганатная окисляемость) достигается только при использовании оксихлорида алюминия.

Одним из важнейших факторов, влияющих на работу сооружений без предварительной подготовки оборотной воды, является соотношение объемов оборотной и исходной воды, а также стабильность подачи и качественного состава оборотной воды. Периодичность сброса промывных вод, время перекачки и нахождения промывных вод в резервуарах зависит от конструктивных и технологических параметров конкретных сооружений (длительность фильтроцикла, количество фильтров, объем резервуара и др.).

Учитывая, что поддержание достаточно равномерного качества для оборотной воды, а, следовательно, оптимальных условий обработки на сооружениях в силу ее специфических свойств и неравномерности сброса является достаточно сложной задачей, схема с передачей промывных вод без обработки, как правило, показывает невысокую надежность на практике.

При обработке более мутных вод, а также в периоды сезонного повышения мутности внесение необработанных промывных вод с большим количеством

взвешенных веществ ухудшает качество обработанной воды по показателям мутность и остаточный алюминий. Для таких условий рекомендуется максимальное осветление оборотной воды.

В целом методы обработки промывных вод можно разделить на безреагентные (усреднение и отстаивание) и реагентные. При безреагентном отстаивании можно получить воду с мутностью 10 – 50 мг/л, при применении реагентов и дополнительных конструктивных усовершенствованиях – до 0,5 – 3,0 мг/л. Снижение содержания остаточного алюминия в обработанной промывной воде примерно пропорционально мутности.

Можно отметить, что при соответствующем технологическом контроле режима работы блоков сооружений, принимающих оборотные воды, и организации обработки промывных вод (усреднении их по расходу и составу, реагентной обработки и отстаивании), подмешивание последних до 30 % к потоку исходной воды не оказывает существенного отрицательного влияния на качество получаемой на этих блоках питьевой воды.

4.1.4. Схемы обработки промывных вод

В настоящее время существуют следующие технологические решения обработки промывных вод:

- 1) безреагентное отстаивание;
- 2) отстаивание (в том числе тонкослойное) с применением коагулянтов и/или флокулянтов;
- 3) обработку в слое рециркулирующего осадка;
- 4) реагентное отстаивание и фильтрование;
- 5) обработка на фильтрах с плавающей загрузкой (как с применением реагентной обработки, так и без нее);
- 6) обработка на ультрафильтрационных установках.

Как правило, все технологические схемы включают песколовку для задержания вымытых зерен фильтрующей загрузки и накопитель-усреднитель. Эти два сооружения могут тем или иным способом блокироваться или совмещаться с остальными сооружениями обработки оборотных вод. Вместо усреднителей могут использоваться отстойники периодического действия.

Как уже было рассмотрено выше, использование резервуаров-усреднителей без какой-либо обработки промывных вод целесообразно только в тех случаях, когда оборотная вода выступает в качестве замутнителя и способствует улучшению процесса коагуляции и повышению качества фильтрата (мутность исходной воды ниже 10 мг/л, цветность выше 50 град, низкая температура воды). В остальных случаях такая схема не обеспечивает современных требований к качеству работы сооружений.

Схема с безреагентным отстаиванием применяется во многих городах РФ и за рубежом. Такой метод обработки промывных вод целесообразно применять при хороших седиментационных свойствах взвеси, при очистке воды водоисточников, характеризующихся повышенной мутностью и

содержанием микробиологических загрязнений, а также в паводковый период для вод с малой мутностью. Недостатком этой схемы является нестабильность качества оборотной воды, подаваемой перед смесителями станции.

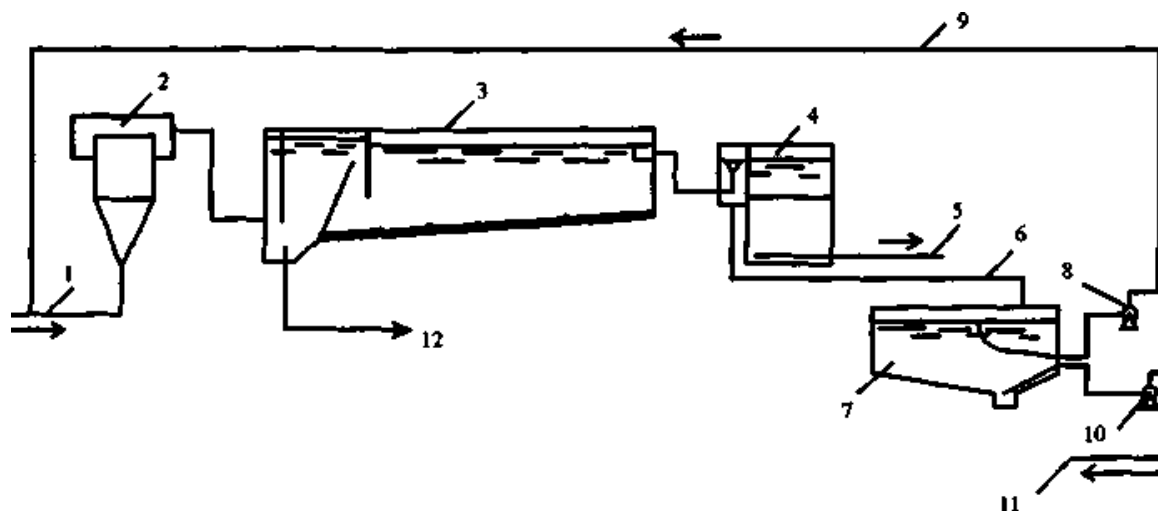


Рис. 4.3. Технологическая схема обработки воды с резервуаром-усреднителем промывных вод скорых фильтров:

1,5 – подача исходной и отвод очищенной воды; 2 – смеситель; 3 – горизонтальный отстойник; 4 – скорый фильтр; 6 – отвод промывной воды скорых фильтров; 7 – резервуар-усреднитель со встроенной песколовкой; 8 – насос для возврата промывной воды в трубопровод перед смесителем; 9 – возврат промывной воды в «голову» сооружений; 10 – насос для удаления осадка из резервуара; 11 – осадок на дальнейшую обработку; 12 – осадок на уплотнение.

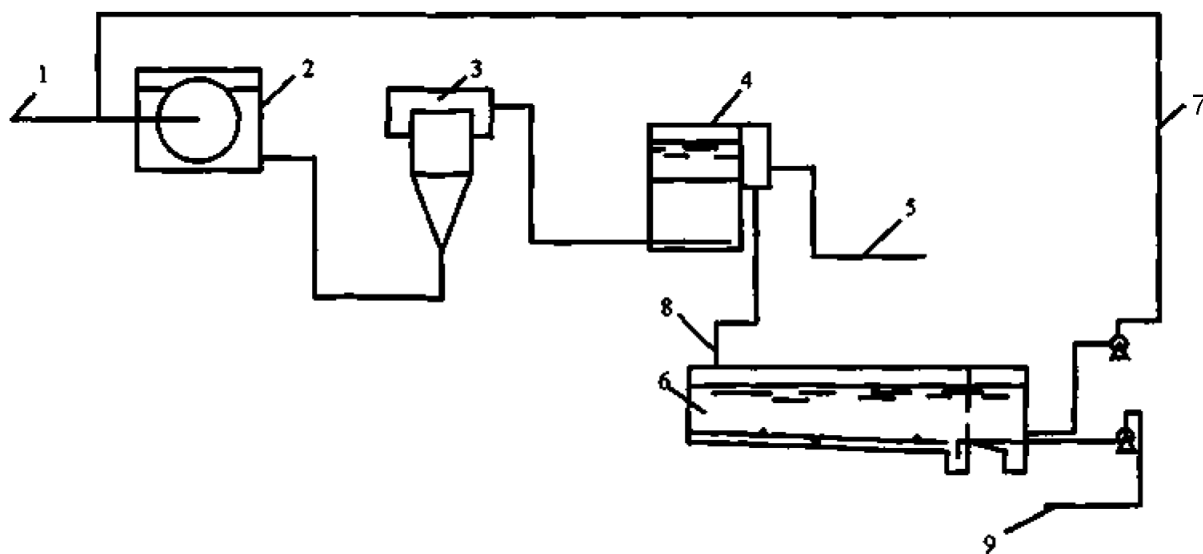


Рис. 4.4. Технологическая схема обработки воды с отстойником промывных вод периодического действия:

1,5 – подача исходной и отвод очищенной промывкой воды; 2 – барабанная сетка; 3 – смеситель; 4 – контактный осветлитель; 6 – отстойник промывных вод периодического действия со встроенной песколовкой; 7 – подача очищенной воды в «голову» сооружений; 8 – сброс промывной воды; 9 – осадок на дальнейшую обработку.

Повысить эффект осветления можно с помощью тонкослойного отстаивания. При этом необходимо обеспечивать равномерную подачу промывной воды в отстойники, целесообразно также дозировать коагулянты.

Для снижения негативного влияния неравномерности подачи и качественного состава промывных вод, улучшения их отстаивания предлагается ряд различных конструктивных усовершенствований усреднителей-отстойников.

В теплом климате и при наличии свободных территорий применяется накопление и длительное отстаивание промывных вод и осадка из отстойников в больших открытых емкостях с дальнейшим подсушиванием выпавшего осадка в естественных условиях.

В ряде случаев при обработке маломутных вод и невысокой концентрации взвешенных веществ в промывных водах фильтров (до 80 – 100 мг/л) повысить эффективность безреагентного осветления можно за счет рециркуляции осадка. Добавление осадка к обрабатываемой воде приводит к образованию дополнительных центров кристаллизации, увеличению плотности частиц, а следовательно, и к повышению скорости их осаждения и улучшению эффекта осветления.

Поскольку традиционная схема очистки промывных вод отстаиванием показывает недостаточную эффективность для цветных маломутных вод, необходим поиск более эффективных методов. По данным исследований М.Г. Журбы достаточно высокие показатели очистки промывных вод были получены фильтрованием через слой плавающей пенополистирольной загрузки.

В настоящее время известно множество различных конструкций фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой (ФПЗ), напорных и безнапорных, отличающихся областью применения, технологическими возможностями, разнообразием конструктивных элементов, условиями размещения пенополистирольной загрузки в корпусах и способами ее промывки. Наиболее экономичными и простыми в эксплуатации являются фильтры с восходящим фильтрационным потоком и относительно однородной пенополистирольной загрузкой (в отечественной практике фильтр типа ФПЗ-1). Для водоподготовки в рабочем слое ФПЗ используются гранулы диаметром от 0,5 до 4,0 мм, загрузка может быть однородная и неоднородная. Для повышения грязеемкости при отсутствии необходимости глубокого осветления может применяться загрузка с более крупными гранулами (2 – 6 мм).

Использование ФПЗ для обработки промывных вод имеет ряд преимуществ по сравнению с фильтрами с тяжелыми грузками: высокая агдезионная способность загрузки; возможность глубокой очистки, благодаря контактной коагуляции в толще загрузки; исключение энергоемкого оборудования для промывки; возможность проведения промывки исходной водой; высокая концентрация промывных вод после ФПЗ.

Результаты испытаний ФПЗ на ВОС г. Вологды, проведенных М.Г. Журбой, показывают, что при безреагентном осветлении мутность промывной

воды снижается примерно в 2 раза, алюминий, цветность и окисляемость снижаются на 10 – 20 %. Реагентная обработка позволяет существенно улучшить качество фильтрата: мутность – до 0,5 – 1,0 мг/л, цветность – 10 – 20 град, алюминий – 0,6 мг/л, окисляемость – 4 мгО₂/л. То есть очистка оборотной воды на фильтрах с плавающей загрузкой дает возможность довести ее качество практически до требований стандарта на питьевую воду.

При обработке промывных вод на ФПЗ рекомендуется применять ПАА с дозой 1 – 2 мг/л и/или коагулянт дозой 4 – 12 мг/л Al₂O₃ в зависимости от режима обработки природной воды и состава промывной.

Все схемы более эффективны при использовании предварительной коагуляции и флокуляции промывных вод. Только в этом случае достигается стабильное, высокое качество оборотной воды, в том числе по содержанию остаточного алюминия. Основное осаждение взвешенных веществ при использовании флокулянтов происходит в течение 15 минут, оптимальная продолжительность отстаивания составляет около 30 мин, при такой длительности возможно обрабатывать промывную воду минимальными дозами 0,05 – 0,1 мг/л.

Использование коагулянтов также эффективно для осветления промывной воды, причем многие специалисты рекомендуют использовать оксихлорид, а не сернокислый алюминий, что дает снижение дозы и остаточного алюминия при низких температурах воды (ниже 6 °С).

Новой методом обработки промывных вод является ультрафильтрационная технология. Ультрафильтрационные мембраны имеют размер пор 0,01 – 0,1 мкм, поэтому легко задерживают даже мелкие хлопья взвеси и коллоидные частицы гидроокиси алюминия. Одновременно достигается 100 %-ное обеззараживание оборотной воды. На мембранную установку может подаваться как необработанная промывная вода, так и предварительно осветленная; первый способ предпочтительнее. Для обработки промывных вод используются специальные ультрафильтрационные аппараты с капиллярными или трубчатыми мембранами (диаметр от 0,8 до 5 мм), работающие в циркуляционном режиме для предотвращения осадкообразования на поверхности мембран. В процессе фильтрования взвешенные вещества концентрируются в мембранных аппаратах. Периодические мембранные аппараты промываются обратным током осветленной воды, и концентрат вместе с промывной водой удаляется для совместной обработки с другими осадками водопроводной станции.

Преимуществом такой технологии является стабильно высокое качество фильтрата по таким показателям как мутность, остаточный алюминий, микробиологические загрязнения, не зависящее от колебаний расхода и качества промывных вод. При предварительной реагентной обработке возможно достижение нормативных показателей на питьевую воду по цветности и перманганатной окисляемости.

Выход осветленной воды в мембранных установках составляет 90 – 95 %, при использовании погружных мембран взвешенные вещества в промывных водах можно сконцентрировать до 5 г/л и выше.

4.2. Обработка осадков, образующихся на станциях водоподготовки

На очистных сооружениях по подготовке питьевой воды образуются концентрированные осадки с высокой влажностью. Это осадки из отстойников и осветлителей со взвешенным слоем, осадки после обработки промывных вод скорых фильтров и контактных осветлителей, осадки из растворных баков с реагентами т.д. Исследование состава водопроводных осадков указывает на высокое содержание в них оксида алюминия и природных органических веществ (до 60 % сухого вещества). Объем осадков составляет 1 – 3 % от полезной производительности водопроводной станции.

Осадки природных вод могут быть классифицированы:

- по качеству воды источника;
- по виду применяемых при очистке воды реагентов;
- по условиям образования.

В зависимости от этих трех факторов осадки могут различаться по составу, структуре и свойствам.

Дисперсионный состав осадков природных вод в значительной мере зависит от состава обрабатываемой воды и представлен минеральными и органическими частицами размерами от 10^{-3} мм и более, а также коллоидными системами, включающими высокомолекулярные вещества с размером частиц $10^{-3} - 10^{-5}$ мм. Состав осадков изменяется по сезонам года в зависимости от изменения состава исходной воды. Гранулометрический состав зависит также от технологической схемы очистки воды и ее конструктивных особенностей.

В общем виде, с увеличением мутности исходной воды возрастает доля сухого вещества в осадках: маломутные высокоцветные воды – 0,3 – 0,4 %, воды средней мутности и цветности – 0,4 – 0,8 %, мутные воды – 0,8 – 3 % и более. Также с повышением мутности возрастает доля крупнодисперсных частиц. В осадке мутных вод нерастворимый остаток составляет 40 – 50 %, в осадке цветных вод – 2 – 15 %.

Соответственно доле сухого вещества увеличивается плотность и уменьшается влажность водопроводного осадка. Наименьшей плотностью, мало отличающейся от плотности осадков чистой гидроокиси алюминия ($1,001 - 1,028$ кг/м³), обладают осадки высокоцветных маломутных вод. С увеличением мутности исходной воды плотность осадков достигает $1,1 - 1,5$ кг/м³. Добавка флокулянтов, как правило, повышает прочность образующихся хлопьев и плотность осадков. Влажность осадков, образующихся в процессе обработки вод поверхностных источников, обычно составляет 92 – 99,8 %.

Осадки, образующиеся при первичном отстаивании поверхностных вод и при отстаивании промывных вод фильтров, различаются по своим свойствам:

так осадок из отстойников – мелкодисперсен ($< 0,5$ мм) и характеризуется высокой влажностью 98 – 99,7 %. Осадки промывных вод содержат в основном грубодисперсные примеси с большой гидравлической крупностью, влажность таких осадков после 40 – 60 мин отстаивания составляет 97,6 – 97,8 %.

Важный технологический показатель – водоотдача или фильтруемость осадков, характеризующаяся удельным сопротивлением фильтрации, оказываемым количеством осадка, отложившимся на 1 м^2 фильтра и содержащим 1 кг сухого вещества. Наличие большого количества органических соединений отрицательно сказывается на водоотдающей способности осадков, которая меняется от $300 \cdot 10^{-10}$ см/г для мутных вод до $1200 \cdot 10^{-10}$ см/г для высокоцветных вод. Осадки промывных вод содержат большое количество связанной воды, их водоотдающая способность низка – удельное сопротивление фильтрованию составляет около $700 \cdot 10^{-10}$ см/г. Плохой водоотдачей обладают осадки маломутных малоцветных вод, в том числе маломутные воды северных регионов России. Производительность аппаратов механического обезвоживания при обработке таких осадков наиболее низкая.

Оценить способность водопроводных осадков к обезвоживанию можно по соотношению цветности (Ц) и мутности (М) водоисточника: так при $\text{Ц/М} > 10$ для эффективного обезвоживания образующихся осадков требуется внесение большого объема вспомогательных веществ, а при $\text{Ц/М} > 30$ осадки не обезвоживаются вообще.

В осадок попадают все задержанные микробиологические и гидробиологические загрязнения, однако при применении предварительного хлорирования или озонирования воды они находятся в основном в инактивированной форме, поэтому дополнительное обеззараживание технологических стоков при дальнейшем использовании обычно не требуется.

В настоящее время основным методом обработки водопроводных осадков в отечественной практике является их естественная сушка, обезвоживание на искусственно созданных картах (площадках вымораживания), а также сброс в овраги, искусственные емкости и, наконец, в водоисточники.

Карты занимают значительные земельные участки, как правило, в непосредственной близости к городским территориям, на которых осадки выдерживаются длительное время (2 – 4 года). При этом органическая часть осадков загнивает, в результате чего образуются неприятные запахи, на картах развивается растительность и размножаются многочисленные виды насекомых.

Сброс осадка водопроводных станций в поверхностные воды нельзя считать приемлемым, так как он способствует большому загрязнению поверхностных вод органическими и неорганическими взвешенными веществами, оксидами металлов. В результате этого в поверхностных водах возникают иловые наносы, повышается потребность в растворенном кислороде, ухудшается их качество.

Во всех случаях указанные методы обработки приводят к загрязнению подземных и поверхностных вод. Таким образом, очевидна необходимость перехода к более совершенным методам обезвоживания водопроводных

осадков — их кондиционированию (разрушению коллоидных связей) с последующим механическим обезвоживанием.

В ряде случаев осадки природных вод вместе с другими технологическими стоками перекачивают на канализационные очистные сооружения. Такой метод находит применение и в России и за рубежом. В частности по опыту работы Люберецкой станции аэрации г. Москвы можно сделать вывод, что прием и обработка водопроводных осадков возможен, но приводит к увеличению влажности и объема осадков из первичных отстойников, ухудшение седиментационных свойств взвешенных веществ сточных вод.

К интенсивным методам обработки осадков и получения вторичных продуктов, пригодных для утилизации, относятся такие методы, как флотационная обработка, гравитационное уплотнение в сгустителях, медленное перемешивание с предварительной обработкой осадков флокулянтами или известью и дальнейшее уплотнение на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или центрифугах. Водопроводные осадки в сравнении с осадками сточных вод значительно труднее поддаются обезвоживанию. При этом требуется большое количество реагентов и снижается производительность аппаратов по механическому обезвоживанию.

Сгустители с медленным механическим перемешиванием используют для ускорения уплотнения осадка из сооружений 1 ступени очистки воды и из реагентного хозяйства, а также осадка из отстойников промывных вод. Габариты радиального отстойника-сгустителя принимают следующие: диаметр — до 18 м, средняя глубина — 3,5 м, уклон дна к грязевому приямку скорость движения конца вращающейся формы — 0,015...0,03 м/с. Продолжительность цикла сгущения принимают 5...10 ч.

Накопители предусматривают для складирования и обезвоживания осадка с удалением осветленной воды и воды, выделившейся при его уплотнении. Расчетный период передачи осадка в накопитель принимают не менее пяти лет. В качестве накопителей используют отработавшие карьеры, овраги или спланированные площадки глубиной не менее 2 м. Число секций накопителя принимают не менее двух, работающих попеременно.

Площадки замораживания для обезвоживания осадка устраивают в районах с периодом устойчивого мороза не менее 2-3 мес. в году с последующим его удалением через 1...3 года в места складирования. В зависимости от географического положения очистных сооружений и сезонных климатических условий влажность осадка может уменьшиться с 98,5...99 до 78...80%, за период между наполнением карт. Нагрузка на площадки может быть уменьшена за счет возврата осветленной части воды на очистные сооружения.

Для интенсификации процесса уплотнения промывных вод отстойников рекомендуется использовать оксихлорид алюминия в сочетании с флокулянтами. Доза ОХА в зависимости от требуемого качества осветленной воды — от 3 — 5 до 8 — 12 мг/л по Al_2O_3 . При обработке осадка используются как катионные, так и анионные флокулянты, поскольку в нем содержатся и

положительно заряженные коллоиды гидроксидов коагулянтов и отрицательно заряженные частицы примесей природной воды.

Механическому обезвоживанию водопроводного осадка, как правило, предшествует их кондиционирование, цель которого состоит в снижении остаточного заряда структурообразующих частиц и в качественном перераспределении различных форм связи с твердым веществом, с переводом части колоидно-связанной воды в свободное состояние. Кондиционирование может осуществляться с применением реагентов, флокулянтов, методов замораживания-оттаивания, радиационной обработки, магнитной обработки и электрокоагуляции.

Среди реагентов особое место занимает известь, являющаяся одновременно реагентом и присадочным материалом. Добавление извести к осадкам в количестве 20 – 100% (в пересчете на СаО от массы сухого вещества осадка) значительно улучшает их фильтрующие свойства. Количество добавляемой извести для снижения удельного сопротивления фильтрации зависит от состава и начального удельного сопротивления осадка.

Переливные центрифуги могут обезвоживать осадок водопроводных станций до концентрации твердых веществ в кеке 20-30%, используя современное механизированное оборудование и новые полимеры. Предварительное уплотнение осадка повышает производительность центрифуг по влажному осадку и уменьшает его влажность. На центрифугах можно получить конечный продукт влажностью до 70% и ниже.

Наиболее приемлемы для обезвоживания водопроводного осадка центрифуги непрерывно-винтового и полунепрерывно-корзиночного типа. Корзиночные центрифуги с нижней подачей способны обезвоживать осадок до содержания твердых веществ в кеке более 30%.

К преимуществам центрифуг можно отнести возможность полного автоматического управления, способность обрабатывать неуплотненный и уплотненный осадки, небольшая площадь, которую они занимают. Применение центрифуг для обезвоживания водопроводных осадков особенно эффективно на малых водопроводных станциях. К недостаткам, сдерживающим широкое использование центрифугирования, следует отнести необходимость предварительной обработки осадков реагентами и дорогостоящими флокулянтами, высокую стоимость эксплуатации, не до конца решенную пока проблему удаления и обработки фильтрата.

Вакуум-фильтрование с предварительной обработкой осадка, содержащего оксид алюминия, кислотой и далее после уплотнения – известкованием, позволяет получать кек с содержанием твердых веществ до 40 %.

Добавление к водопроводному осадку химических реагентов, флокулянтов, а также минеральных или органических добавок (каменноугольной пыли, древесной муки, молотого мела) позволяет получить кек с влажностью 62 – 78 % и повысить производительность вакуум-фильтров в 2,5 – 3 раза.

За рубежом для обезвоживания водопроводного осадка применяют два типа вращающихся барабанных вакуум-фильтров: со сходящим полотном и нанесением на фильтровальную перегородку дополнительного фильтрующего слоя. Конструктивные особенности вакуум-фильтров и свойства обрабатываемых осадков маломутных цветных вод с добавлением извести не позволяют добиться влажности кека меньше, чем 80 – 84 %. Недолговечность ткани вакуум-фильтров отечественных конструкций, высокая стоимость эксплуатации, большой расход реагентов сдерживают применение данного метода для обезвоживания осадков водопроводных станций, содержащих оксид алюминия.

Среди фильтров непрерывного действия известны вакуум-фильтры барабанные, дисковые, ленточные и ряд других. Согласно рекомендациям (Пособие к СНиП 2.04.02-84) вакуум-фильтры целесообразно использовать для вод с мутностью более 100 мг/л.

Автоматические фильтр-прессы с механическим зажимом фильтровальных плит типа ФПАКМ (фильтр-пресс автоматический, камерный, модернизированный) обеспечивают удовлетворительные результаты при добавлении к водопроводному осадку извести, выполняющей в этом случае роль реагента и присадочного материала благодаря ее низкой растворимости, большому содержанию инертных примесей, высокой дисперсности и низкой плотности. Эффективность применения фильтр-прессов зависит от качества исходной воды, поступающей на водопроводную станцию и, как следствие – от качества водопроводного осадка, поскольку от этого зависит расход извести для кондиционирования водопроводного осадка.

Обезвоживание водопроводного осадка на фильтр-прессах с добавлением извести или других присадочных материалов приводит к образованию большого количества фильтрата, обогащенного загрязнениями, в состав которых входит алюминий, и требует дополнительной обработки. Из-за применения большого количества реагентов, присадочного материала, высокой стоимости эксплуатации и дополнительных сооружений по обработке фильтрата применение фильтр-прессов сдерживается, особенно для осадков, образующихся при обработке высокоцветных маломутных природных вод.

Ленточные фильтр-прессы предназначены для механического обезвоживания осадков под действием сил гравитации, вакуума и давления. Общим конструктивным элементом ленточных фильтр-прессов являются две непрерывно передвигающиеся параллельно друг другу фильтровальные ленты, между которыми отжимается осадок. Промывка фильтрующих лент производится при помощи устройств по типу «водяных флейт». Применяются ленты из полиэфирной, лавсановой или пропиленовой одно- или многослойной ленты. Применение ленточных фильтр-прессов для обезвоживания гидрооксидных осадков стало возможным благодаря широкому распространению синтетических полиэлектролитов (флокулянтов) различного типа, позволяющих кондиционировать осадок перед механическим

обезвоживанием. Ленточные фильтр-прессы хорошо зарекомендовали себя при обезвоживании осадков маломутных вод с низкой и средней цветностью.

Основными преимуществами ленточных фильтр-прессов перед другими видами оборудования для механического обезвоживания осадка (камерными фильтр-прессами, вакуум-фильтрами, центрифугами) являются более высокая производительность, низкие энергоемкость, капитальные и эксплуатационные затраты. Ленточные фильтр-прессы отличаются также возможностью обезвоживания неуплотненного осадка влажностью до 99%.

По значениям влажности обезвоженного водопроводного осадка (77 – 84 %) ленточные фильтр-прессы несколько уступают камерным фильтр-прессам и сопоставимы, либо превосходят центрифуги (декантеры). Потребляемая мощность на тонну сухого вещества 5 – 20 кВт. Фильтрат ленточных фильтр-прессов может использоваться после очистки для промывки фильтровальных лент.

4.3. Проектирование водоочистных комплексов водоподготовки

4.3.1. Основы выбора технологической схемы, сооружений и реагентов

Полный расход воды, поступающей на комплекс водоподготовки Q_n , определяют с учетом расхода воды на его собственные нужды (приготовление пульпы, растворов и суспензий реагентов, продувка осветлителей или отстойников, удаление пены из флотаторов, промывка фильтровальных сооружений и резервуаров фильтрованной воды и др.) и дополнительного расхода воды на восполнение противопожарного запаса $Q_{доп}$. Следовательно, полный расход воды, поступающей на водоочистный комплекс, будет равен

$$Q_n = \alpha Q_{\text{макс.сут.}} + Q_{\text{доп}}, \quad (4.1)$$

где α – коэффициент, с помощью которого определяют расход воды на собственные нужды комплекса (для комплексов осветления и обесцвечивания, обезжелезивания, сорбционного обесфторивания при обороте промывной воды – 1,03...1,04; без повторного использования – 1,1...1,14; для установок умягчения воды – 1,2...1,3).

Дополнительный расход воды на восполнение противопожарного запаса равен

$$Q = 3,6 n q_{\text{пож}} T_{\text{пож}} T_{\text{вос}}, \quad (4.2)$$

где n – число одновременных пожаров; $q_{\text{пож}}$ – норма расхода воды при пожаре по СНиПу, л/с; $T_{\text{пож}} = 3$ – расчетная продолжительность пожара, ч; $T_{\text{вос}}$ – период восстановления пожарного запаса, ч (для городов и предприятий категории А,

Б, В – 24 ч, для предприятий категорий Г, Д – 36 ч, для сельских населенных пунктов – 72 ч).

Водоочистные комплексы должны быть рассчитаны на равномерную работу в течение суток максимального водопотребления, при этом следует предусмотреть необходимость отключения отдельных сооружений на текущий ремонт, осмотр и т.п.

Для водоочистных комплексов производительностью до 5 тыс. м³/сут. допускается организация работы в течение части суток.

При проектировании водоочистных комплексов их коммуникации необходимо рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 30% больше расчетного, руководствуясь соображениями, интенсификации или реконструкции водоочистных сооружений.

Состав водоочистных сооружений зависит от качества воды в источнике водоснабжения, требований, предъявляемых к обработанной воде, которые обусловлены регламентами потребителя, и от производительности установки. При подготовке воды питьевого качества состав водоочистных сооружений назначается по СП 31.13330.2012, а при подготовке воды для технологических нужд – в соответствии с требованиями технологии. Рассмотренные ранее технологические схемы составлены, исходя из оптимальных режимов эксплуатации отдельных водоочистных сооружений и с учетом технико-экономических показателей их работы. Так, сооружения предварительной обработки воды (отстойники, осветлители со взвешенным осадком, флотаторы и др.) должны осветлять воду до 4-12 мг/л и снижать ее цветность до 25-30 град. Если мутность обрабатываемой воды больше 1,5 г/л, то необходимо предусматривать сооружения предварительного безреагентного осветления, выбор которых обусловлен характером взвеси и производительностью водоочистного комплекса. Обычно для этой цели используют горизонтальные или радиальные отстойники, осветлители – водозаборы и гидроциклоны.

Более сложным и ответственным является обоснование выбора конструкций отдельных технологических сооружений. Например, при проектировании установок с осветлителями со взвешенным осадком или с контактными осветлителями предпочтение следует отдавать вертикальным смесителям, которые обеспечивают не только требуемое смешение реагентов с водой, но и воздухоудаление, что является необходимым условием для надежной работы указанных аппаратов.

При необходимости удаления из воды планктона следует предусматривать микрофильтры или принимать технологию с флотаторами, либо на первой ступени фильтровать воду через плавающую полимерную загрузку.

В случае дезодорации воды с использованием угольной пульпы или сильного окислителя в начале технологического тракта следует устраивать в качестве входного устройства контактный резервуар, а при длительном периоде дезодорации – угольные фильтры, располагаемые после осветлительных, предусматривая, если это необходимо, ввод озона или хлора в воду перед фильтрами с активным углем.

4.3.2. Высотная схема и планировка водоочистных сооружений

На крупных водоочистных комплексах обрабатываемая вода от сооружения к сооружению передается самотеком. Поэтому важно знать взаимное высотное расположение отдельных элементов технологической схемы. Это достигается построением высотной схемы (рис. 4.4) продольного профиля по воде в произвольном масштабе, на котором показывают все основные и вспомогательные сооружения и аппараты и проставляют отметки уровней воды в каждом сооружении и отметки дна сооружений. При составлении высотной схемы необходимо обеспечить условия самотечного движения воды от контактной камеры или смесителя до резервуара чистой воды при одновременном соблюдении требований удобства эксплуатации. Для этого прежде всего необходимо знать максимально возможные потери напора во всех водоочистных сооружениях технологической схемы, потери напора в коммуникациях между сооружениями и потери напора в измерительной аппаратуре.

Примерные величины перепадов уровней воды в водоочистных сооружениях и соединительных коммуникациях следует рассчитывать согласно СП 31.13330.2012. При проектировании высотной схемы максимальную отметку уровня воды в резервуаре чистой воды назначают на 0,25...0,5 м выше поверхности земли и принимают как исходную минимальную. Далее путем последовательного суммирования потерь напора определяют отметки уровней воды в остальных сооружениях.

Для предварительного расположения сооружений потери напора допускается принимать, м:

- в сооружениях на сетчатых фильтрах – 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 взвешенным осадком – 0,7-0,8;
- на скорых фильтрах – 3-3,5;
- в контактных осветлителях и префильтрах – 2-2,5;
- в установках УФ-обеззараживания – 0,5-0,8;
- в соединительных коммуникациях:
 - от сетчатых барабанных фильтров или входных камер к смесителям – 0,2;
 - от смесителей к отстойникам, осветлителям со взвешенным осадком и контактными осветлителям – 0,3-0,4;
 - от отстойников, осветлителей со взвешенным осадком или префильтров к фильтрам – 0,5-0,6;

от фильтров или контактных осветлителей к резервуарам фильтровальной воды – 0,5-1,4.

Определение потерь напора в коммуникациях связано с вычислением сечений соединительных трубопроводов и каналов между отдельными сооружениями технологической схемы. Для этого используют величины допустимых в них скоростей движения воды, м/с: от НС-1 подъема к смесителю – 1,0...1,2; от смесителя к камере хлопьеобразования или осветлителю – 0,6...1,0; от отстойников или осветлителей со взвешенным осадком к фильтрам – 0,8...1,2; от фильтровальных аппаратов к резервуарам чистой воды – 1,2...1,5; в трубопроводах подачи и отвода промывной воды – 1,5...2,0.

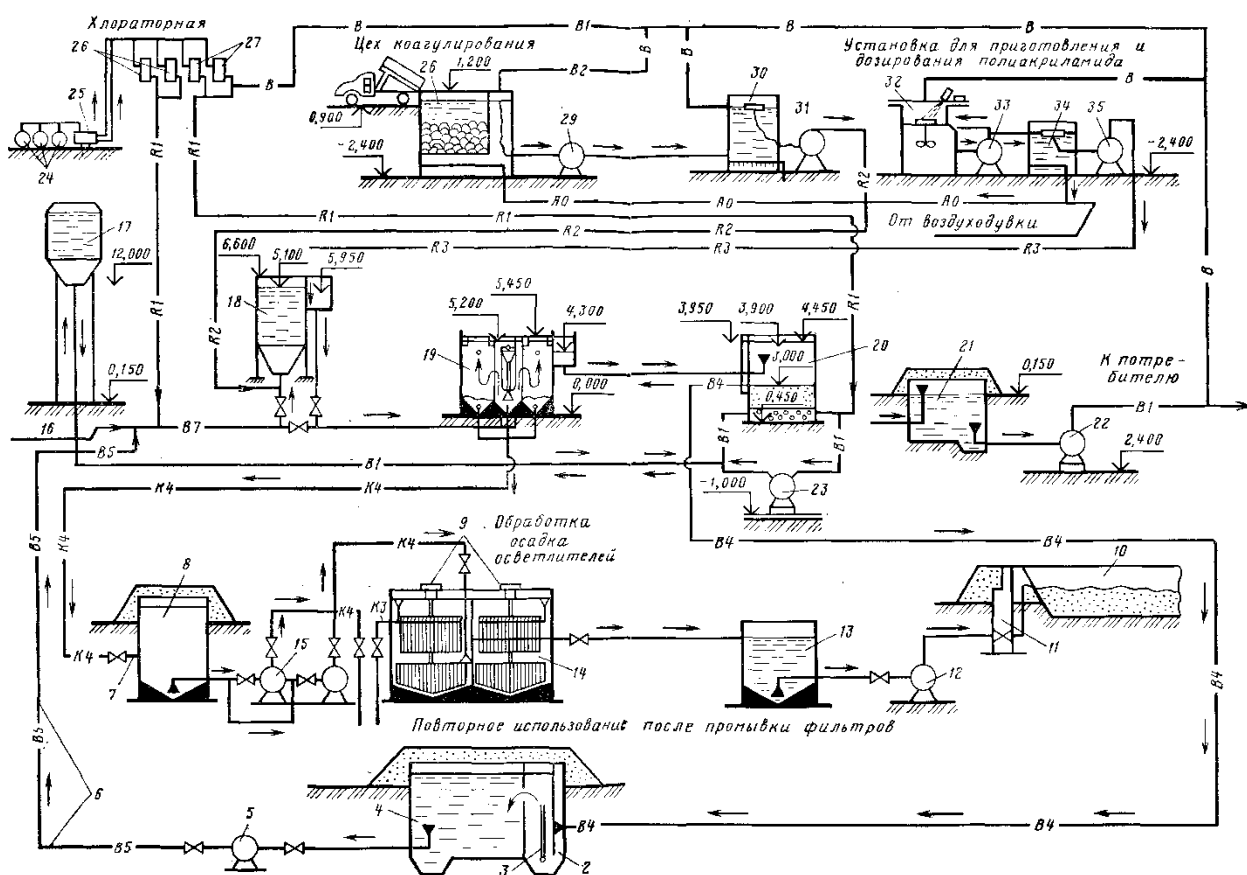


Рис. 4.4. Высотная схема водоочистного комплекса:

1 – подача промывной воды от фильтров; 2 – песколовка; 3 – гидроэлеватор; 4 – резервуар-усреднитель промывной воды; 5 – насос перекачки промывной воды; 6 – возврат промывной воды на очистную станцию; 7 – подача осадка от осветлителей; 8 – резервуар приема осадка; 9 – установка медленного перемешивания осадка; 10 – площадка обезвоживания осадка; 11 – колодец для напуска осадка; 12 – насос перекачки сгущенного осадка; 13 – емкость сгущенного осадка; 14 – осадкоуплотнитель; 15 – насосы перекачки сырого осадка; 16 – подача исходной воды; 17 – башня промывной воды; 18 – вихревой смеситель; 19 – осветлитель со взвешенным осадком; 20 – скорый фильтр; 21 – резервуар чистой воды; 22 – насос II подъема; 23 – насос подкачки промывной воды; 24 – бочки с хлором; 25 – испаритель; 26 – хлораторы первичного хлорирования; 27 – то же, вторичного; 28 – растворно-хранилищный бак коагулянта; 29 – насос перекачки раствора коагулянта; 30 – расходный бак коагулянта; 31 – насос-дозатор раствора коагулянта; 32 – мешалка полиакриламида; 33 – насос для циркуляции и подачи полиакриламида в расходный бак; 34 – расходный бак раствора полиакриламида; 35 – насос-дозатор раствора ПАА

Помимо профиля по воде при составлении высотной схемы необходимо определить высоту отдельных сооружений и отметки их дна по отношению к поверхности земли. При привязке очистных сооружений и проектировании высотной схемы необходимо учитывать рельеф площадки очистных сооружений, глубину залегания грунтовых вод, максимальный уровень воды в водоеме в период паводка, возможность самотечного отвода сточных вод и осадков с очистных сооружений, условия производства строительно-монтажных работ и их объем, условия работы насосов насосной станции II подъема. Отметки днищ водоочистных сооружений должны назначаться с соблюдением условия минимального объема земляных и бетонных работ и наиболее благоприятных условий производства работ.

На высотной схеме водоочистного комплекса должно быть показано реагентное хозяйство, сооружения по обороту промывной воды и обработки осадка из сооружений предварительной очистки, отметки оси промывных насосов или днища бака промывной башни, отметки вакуумнасосов, насосов-дозаторов, кислотных насосов, воздуходувок.

На территории водоочистных комплексов, т.е. в санитарной зоне строгого режима, помимо основных технологических сооружений размещают все вспомогательные помещения (склады реагентов и фильтрующих материалов, мастерские, лаборатории, диспетчерские и др.). Склады реагентов, кроме хлора и аммиака, должны располагаться вплотную к реагентному цеху, где находятся аппараты для приготовления их растворов и суспензии (рис. 4.5). Площадь складов реагентов рассчитывают на хранение 15...30-дневного запаса в зависимости от продолжительности паводка и местных условий их доставки.

В зависимости от вида реагента и производительности комплекса предусматривают его сухое или мокрое хранение в виде концентрированных растворов или продуктов, залитых водой. Хранение реагентов в сухом виде осуществляют в закрытых складах навалом или в таре. Фторсодержащие реагенты и полиакриламид хранят в таре. При этом срок хранения полиакриламида до 6 мес.; не допускается его замораживание, ведущее к потере его активности. На крупных водоочистных комплексах раствор коагулянта концентрацией 15...20% хранят в баках-хранилищах без перемешивания. Количество баков должно быть не менее четырех. При числе баков до десяти следует предусматривать один резервный.

При сухом хранении извести предусматривают дробилки и известегасилки, при мокром хранении – резервуары-хранилища и устройства для отбора, транспортировки теста и его гидравлического или механического перемешивания при приготовлении известкового молока.

К помещению для хранения активного угля предъявляют требования пожарной безопасности, относя реагент к категории В. Проектирование складов аммиака и хлора, а также складов для хранения кислот должно производиться согласно Санитарным правилам проектирования, оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих ядовитых веществ.

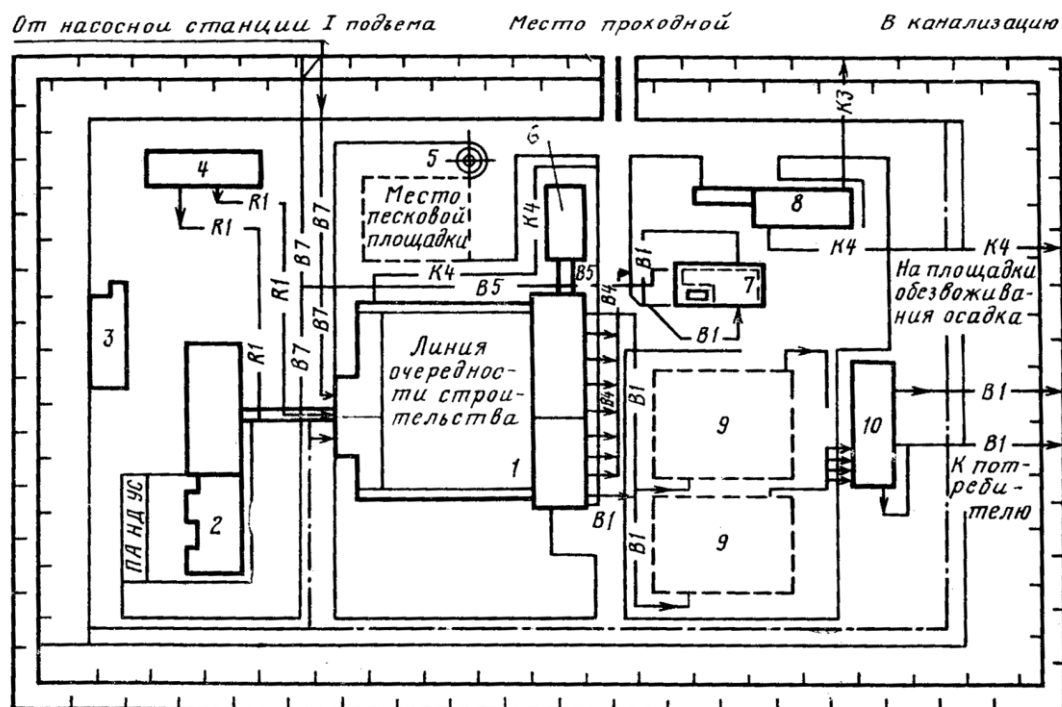


Рис. 4.5. Генеральный план водоочистного комплекса:

1 – блок основных сооружений; 2 – реагентное хозяйство; 3 – котельная; 4 – служебный корпус; 5 – башня промывной воды; 6 – хлораторная; 7 – сооружения оборота промывной воды; 8 – сооружения обработки осадка; 9 – резервуар чистой воды; 10 – насосная станция II подъема

На крупных водоочистных комплексах предусматривают песковое хозяйство для хранения, сортировки, промывки и транспортирования материалов, необходимых для периодической догрузки и перегрузки фильтровальных аппаратов. Определение объема емкостей для хранения фильтрующих материалов и подбор оборудования для их промывки и рассева производят из расчета 10% ежегодного пополнения фильтрующей загрузки и дополнительного аварийного запаса на перегрузку одного фильтра при их общем количестве до двадцати. Загрузку фильтрующим материалом следует производить с помощью песковых или водоструйных насосов при скорости движения пульпы 1,2...2 м/с.

Для надежной организации работы водоочистного комплекса в его составе необходимо предусматривать лаборатории, мастерские и другие вспомогательные помещения согласно СП. Диспетчерский пункт цеха водоочистки обычно устраивают совмещенным с пунктом управления насосными станциями I и II подъема.

4.3.3. Принципы компоновки водоочистных комплексов

Основополагающими при решении генплана водоочистного комплекса помимо географических, топографических и геологических условий являются его производительность и состав водоочистных сооружений. На генплане

показывают блок основных водоочистных сооружений, служебный корпус, реагентное хозяйство, башню промывной воды, сооружения обработки осадка, НС II подъема, хлораторную со складом хлора, резервуары чистой воды, котельную, место песковой площадки (рис. 4.5).

Компактное взаимное расположение отдельных водоочистных сооружений, вспомогательных помещений и оборудования на генплане комплекса должно предусматривать минимальные капиталовложения в строительство, обеспечивать максимальные удобства и экономичность эксплуатации, минимальную протяженность трубопроводов и дорожных покрытий между ними, удобство производства ремонтных работ, надежность и бесперебойность работы комплекса, возможность расширения.

На рациональное решение генерального плана водоочистного комплекса доминирующее влияние оказывает рельеф местности. Так, в целях уменьшения объема земляных работ по выемке грунта и обсыпке отдельных сооружений рекомендуется располагать в повышенных местах сооружения с высокими отметками заложения фундамента, а с малыми – в пониженных. Все основные и вспомогательные сооружения желательно располагать в виде единого комплекса (рис. 4.6), образуемого трех-, двух- и одноэтажными зданиями. Для малых водопроводов компактность расположения водоочистных сооружений и оборудования достигается их размещением на одном участке, а иногда и в одном здании с насосными станциями I и II подъема.

При проектировании или привязке одноступенчатых схем решение генплана носит более лаконичный характер, однако, ему присущи все те принципы, о которых говорилось ранее.

На генеральный план водоочистного комплекса наносят все технологические, обслуживающие и подсобные сооружения, перечисленные выше, и кроме того, понизительную электроподстанцию, материальный склад, песковое хозяйство, котельную, мастерские, проходную. Хлораторную, совмещенную со складом хлора, размещают в наиболее низкой части территории водоочистного комплекса на расстоянии не менее 30 м от зданий. Если сооружения размещены в здании, то на генплане показывается само здание с примыкающими к нему коммуникациями. Территории, где размещены водоочистные сооружения, ограждается с соблюдением требований СП.

Надежность работы водоочистного комплекса обеспечивается дублированием отдельных технологических сооружений и устройством обводных линий, позволяющих отключать то или иное сооружение или блок, пропуская воду в обход. При этом для водоочистных комплексов с подачей 10 тыс. м³/сут. возможно отключение половины технологических сооружений, а для комплексов большей мощности – до четверти. Кроме того, необходимо предусматривать обводную линию от НС I подъема непосредственно в резервуары чистой воды.

На генплане должны быть показаны с указанием диаметров трубопроводы исходной и фильтрованной воды; трубопроводы подачи, отвода и оборота промывной воды; промышленная и хозяйственно-бытовая канализация,

хозяйственно-противопожарный водопровод, отводной трубопровод, теплосеть, кабели и другие коммуникации.

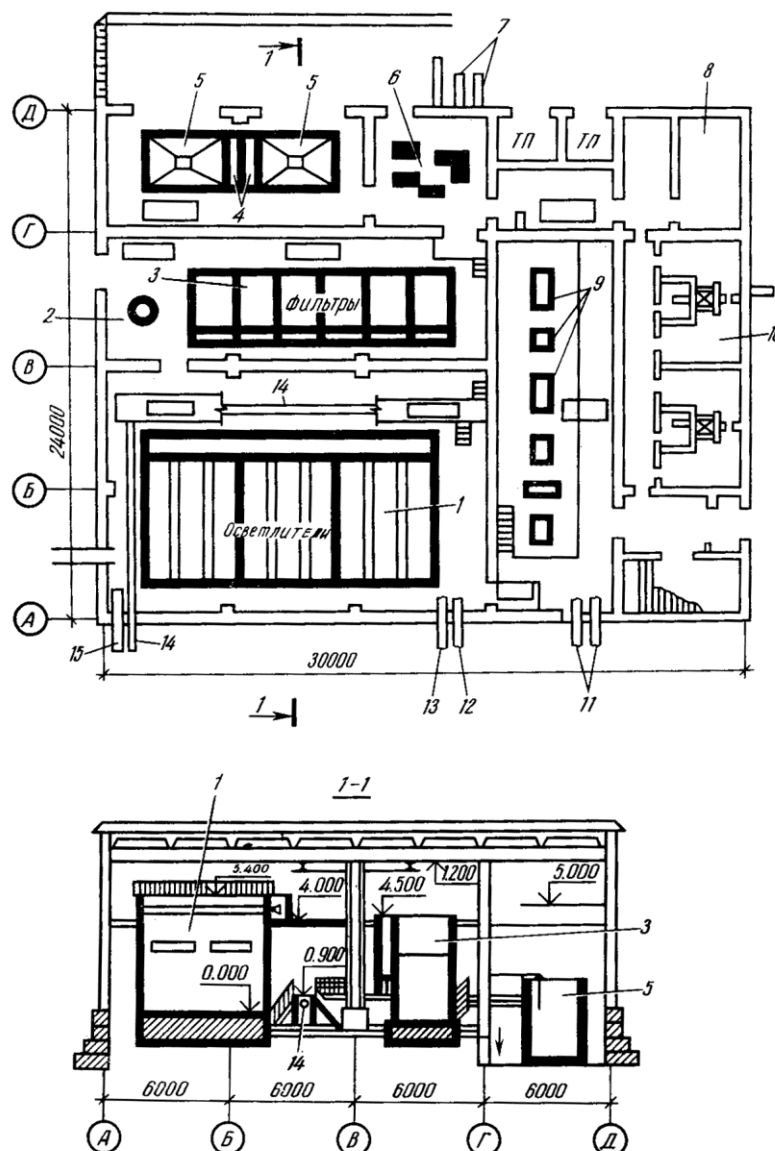


Рис. 4.6. Компонировка водоочистных сооружений:

1 – осветлители со взвешенным осадком; 2 – смеситель; 3 – скорые фильтры; 4 – расходные баки коагулянта; 5 – растворные баки-хранилища коагулянта; 6 – насосы-дозаторы и воздуходувки; 7 – подача чистой воды потребителю; 8 – мастерские; 9 – насосная станция II подъема; 10 – бытовые помещения; 11 – всасывающие трубопроводы из резервуаров чистой воды; 12 – отвод чистой воды в резервуаре; 13 – сброс осадка из осветлителей; 14 – сброс промывной воды от фильтров; 15 – подача исходной воды.

При решении генплана водоочистного комплекса необходимо предусматривать возможность его расширения на расчетный период. С этой целью на генплане предусматривают площадку, обозначаемую пунктиром, при этом трассировка трубопроводов первой очереди должна непременно учитывать последующее расширение. Стороны здания, в направлении которых будет производиться пристройка при расширении комплекса, не должны

загромождаться постройками постоянного типа, подземными сооружениями и коммуникациями. Каналы и трубы обвязки сооружений должны быть рассчитаны с запасом на возможность пропуска воды после реконструкции отдельных водоочистных сооружений или целых блоков.

Использование технологии обработки воды в осветлителях со слоем взвешенного осадка на водоочистных комплексах производительностью до 50 тыс. м³/сут. позволяет разместить в одном здании все основные технологические сооружения, реагентное хозяйство, входные устройства (вариант) и НС II подъема. При этом смесители, осветлители и фильтры выделены в отдельный зал. При большей производительности водоочистного комплекса служебные помещения выносятся в двухэтажное отдельное здание, входные устройства стыкуют с основными сооружениями или размещают в отдельно стоящем здании реагентного хозяйства. В этом случае в состав реагентного цеха включают отделения коагулирования, флокулирования, фторирования и могут быть еще отделения углевания, известкования и др. Для удобства эксплуатации служебный корпус и реагентный цех проходными галереями соединяются с блоком основных сооружений.

4.3.4. Технико-экономическое обоснование технологических схем станции водоподготовки и состава сооружений.

На различных стадиях проектных проработок, при разработке технической конструкторской документации и экономической оценке промышленных испытаний и эксплуатации новой водоочистной техники наиболее часто возникают задачи выбора местоположения водозаборных и водоочистных сооружений, технологии водоочистки, состава основных и вспомогательных сооружений, оптимальных типов и конструкций отдельных сооружений и пр.

В общем случае условия для размещения очистных систем водоснабжения можно считать оптимальными при наличии свободных площадей застройки; источников электроснабжения; благоприятных условий для отвода промывных вод при минимуме затрат по планировке территории очистной станции.

Выбор технологической схемы и состава сооружений для очистки воды производится на основании качества воды в источнике, требований к очищенной воде, с обязательным учетом производительности очистной станции и потенциальных возможностей технологических сооружений.

Область применения новых конструкций и технологических схем очистки устанавливается на основании определения соответствия технологических параметров новых сооружений (по данным исследований) требованиям, предъявляемым к качеству очищенной воды. В случае, когда качество исходной воды позволяет применить несколько технологических схем очистки и разные по принципам работы очистные сооружения, выбор должен производиться на основании технико-экономического сравнения вариантов.

При необходимости могут быть проведены технико-экономическое сравнение и расчеты для отдельных элементов конструкций очистных

сооружений, способов промывки загрузки и компоновки отдельных сооружений на площадке очистной станции. Для технико-экономических расчетов достаточно определить основные размеры сооружений без детальных расчетов их внутренних элементов.

При использовании для сравнения вариантов укрупненных показателей строительной стоимости сооружений в отдельных случаях достаточно предварительно определить производительность очистной станции, тип сооружений и их производительность.

Все расчеты сооружений, определение размеров технологического оборудования и других данных для определения капиталовложений и эксплуатационных затрат производятся по справочным данным и данным проектов, а для вновь разработанных очистных сооружений – по специальным Указаниям на их проектирование. Определение стоимости сооружений производят по укрупненным показателям станций очистки в целом или отдельных сооружений, составленным по паспортам типовых проектов.

Стоимость отдельных сооружений (отстойников, резервуаров промывной воды и т.д.) и монтажа насосов и другого технологического оборудования и очистных устройств или сооружений определяют по укрупненным показателям отдельных видов работ и конструктивных элементов, сметами и нормативным расценкам на производство работ.

Стоимость строительно-монтажных работ по проекту-аналогу необходимо приводить к уровню цен проектируемого объекта с использованием переводного коэффициента.

В смету эксплуатационных расходов включаются следующие основные показатели:

- заработная плата обслуживающего персонала с отчислениями на социальное страхование;
- затраты на электроэнергию и отопления помещений;
- затраты на реагенты (если предусматривается реагентная очистка воды);
- амортизационные отчисления;
- отчисления на текущий ремонт;
- прочие расходы.

В тех случаях, когда не требуется точного определения себестоимости очистки 1 м³ воды, а проводится лишь относительное сравнение двух вариантов по эксплуатационным затратам, эксплуатационные расходы можно не определять, если они одинаковы по отдельным статьям сметы.

По общепринятой до настоящего времени методике выбор экономичного варианта схемы очистки в целом или отдельного очистного сооружения производится по приведенным затратам Π , определенным по формуле:

$$\Pi = \mathcal{E} + E_n \cdot K, \text{ руб,} \quad (4.2)$$

где $\mathcal{E}$ – эксплуатационные затраты; K – капиталовложения; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (принимался ранее не

ниже 0,12). В настоящее время срок окупаемости, приемлемый для инвестора назначается обычно в пределах 3-4 лет.

Если сравниваемые варианты имеют примерно равные значения приведенных затрат, то предпочтение отдается тому, который обеспечивает более рациональное повторное использование промывной воды, требует минимум площади под строительство и меньший расход дефицитных материалов, обеспечивает больший коэффициент использования местных ресурсов и возможность более быстрого ввода станции очистки в эксплуатацию, более экологичен.

Другими важнейшими показателями экономической эффективности рассматриваемых вариантов сооружений очистки являются:

а) себестоимость 1 м³ очищенной воды, определяемая по формуле:

$$S = \mathcal{E} / Q_{\text{ср.год}}, \text{руб./м}^3, \quad (4.3)$$

где S – себестоимость 1 м³ очищенной воды; $\mathcal{E}$ – годовые эксплуатационные расходы, руб.; $Q_{\text{ср.год}}$ – среднегодовое количество очищенной воды, м³.

б) удельные капиталовложения на очистку 1 м³ воды:

$$K_{\text{уд}} = K / Q_{\text{сум}}, \text{руб./м}^3, \quad (4.4)$$

Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии очистки или новых конструкций очистных сооружений определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_e = [(\mathcal{E}_a + K_a E_n) - (\mathcal{E}_n + K_n E_n)] \cdot Q_{\text{год}}, \text{руб.}, \quad (4.5)$$

где $\mathcal{E}_a$ и $\mathcal{E}_n$ – удельные эксплуатационные расходы для аналогового варианта и варианта с включением новой техники, руб./м³; K_a и K_n – удельные капитальные вложения для аналогового варианта и с включением новой техники, руб./м³; $Q_{\text{год}}$ – среднегодовой объем воды, прошедшей очистку, м³.

На стадии технико-экономического обоснования инвестиционного проекта расчет экономической эффективности сравниваемых вариантов необходимо производить в прогнозных и расчетных ценах. Прогнозная цена $P_{(t)}$ отпускаемой потребителю воды в конце t_i периода определяется по формуле:

$$P_{(t)} = P_{\delta} \cdot J_{ti}, \quad (4.6)$$

где P_{δ} – базисная цена воды; J_{ti} – коэффициент (индекс) изменения цен ресурсов соответствующей группы в конце t_i года по отношению к начальному моменту расчета, в котором известны цены.

Базисная цена отпускаемой потребителям воды P_{δ} , как и цена воды на последующих этапах ее потребления $P_{\delta(i)}$, определяется:

$$P_{\delta(i)} = S_{\delta(i)} + E_{\delta(i)} \cdot K_{\delta(i)} + \Delta\Pi_{\delta(i)}, \text{м}^3 \quad (4.7)$$

где $S_{\delta(i)}$ – полная себестоимость получения 1 м³ воды требуемого качества, учитывающая текущие затраты на забор воды из водоемисточника, ее очистку, хранение, перекачку по водоводам и подачу через водопроводную сеть каждому потребителю в нужном количестве и под необходимым напором; $E_{\delta(i)}$ – норма эффективности инвестиций (капитальных вложений); $K_{\delta(i)}$ – суммарная величина инвестиций; $\Delta\Pi_{\delta(i)}$ – прибыль от реализации 1 м³ воды потребителям.

Себестоимость получения 1 м³ воды требуемого качества определяется с учетом либо всех затрат в системе: водозабор - очистка - водораспределение (если технология и сооружения очистки воды влияют на изменение текущих и капитальных затрат по сравниваемым вариантам на стадии не только очистки, но и водозабора и водоподачи потребителям), либо только на стадии водоочистки (когда сравниваемые технологии очистки воды не оказывают влияния на специфику технологий и затраты в водозаборном узле и водопроводной сети).

4.3.5. Организация и проведение проектных работ

Разработка проектной документации на строительство объектов осуществляется на основе утвержденных инженерных изысканий, задания на проектирование в соответствии с исходно-разрешительной документацией и с соблюдением требований нормативной документации. На основании утвержденного в установленном порядке проекта строительства (или реконструкции) разрабатывается рабочая документация.

Для технически и экологически сложных объектов и при особых природных условиях строительства по решению заказчика (инвестора) или заключению государственной экспертизы по рассмотренному проекту одновременно с разработкой рабочей документации и осуществлением строительства могут выполняться дополнительные детальные проработки проектных решений по отдельным объектам, разделам и вопросам.

Основным документом, регулирующим правовые и финансовые отношения, взаимные обязательства и ответственность сторон, является договор (контракт), заключаемый заказчиком с привлекаемыми им для разработки проектной документации проектными, проектно-строительными организациями, другими юридическими и физическими лицами. Неотъемлемой частью договора (контракта) должно быть задание на проектирование.

Проектирование объектов строительства должно осуществляться юридическими и физическими лицами, получившими в установленном порядке право на соответствующий вид деятельности.

Проектная документация разрабатывается преимущественно на конкурсной основе, в том числе, через торги подряда (тендер). Проекты, рабочие проекты на строительство объектов, независимо от источников финансирования, форм собственности и принадлежности подлежат государственной экспертизе.

Проект на строительство предприятий, зданий и сооружений производственного назначения состоит из следующих разделов:

- Общая пояснительная записка;
 - Генеральный план и транспорт;
 - Технологические решения;
 - Организация и условия труда работников;
 - Управление производством и предприятием;
 - Архитектурно-строительные решения;
 - Инженерное оборудование, сети и системы;
 - Организация строительства;
 - Охрана окружающей среды;
 - Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны.
- Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- Сметная документация;
 - Эффективность инвестиций.

Общая пояснительная записка включает: основание для разработки проекта, исходные данные для проектирования, краткую характеристику предприятия и входящих в его состав производств и цехов, данные о проектной производительности станции, сырьевой базе, потребности в топливе, воде, тепловой и электрической энергии, комплексном использовании сырья, отходов водоподготовки, вторичных энергоресурсов; сведения о социально-экономических и экологических условиях района строительства. В пояснительной записке отражаются основные показатели по генеральному плану, инженерным сетям и коммуникациям, мероприятия по инженерной защите территории, а также общие сведения, характеризующие условия и охрану труда работающих, санитарно-эпидемиологические мероприятия, основные решения, обеспечивающие безопасность труда работников и условия жизнедеятельности населения. В записке приводятся сведения об использованных в проекте изобретениях и патентах. Пояснительная записка содержит технико-экономические показатели, полученные в результате разработки проекта, их сопоставление с показателями утвержденного (одобренного) «Обоснования инвестиций в строительство объекта» и установленным заданием на проектирование, выводы и предложения по реализации проекта, а также сведения о проведенных согласованиях проектных решений; подтверждение соответствия разработанной проектной документации государственным нормам, правилам, стандартам, исходным данным, а также техническим условиям и требованиям, выданным органами государственного надзора (контроля) и заинтересованными организациями при согласовании места размещения объекта. Оформленные в установленном порядке согласования об отступлениях от действующих нормативных документов.

В пояснительную записку включаются краткая характеристика района и площадки строительства; решения и показатели по генеральному плану, внутриплощадочному и внешнему транспорту, выбор вида транспорта, основные планировочные решения, мероприятия по благоустройству

территории; решения по расположению инженерных сетей и коммуникаций; организация охраны предприятия.

В проектную документацию на строительство включаются следующие основные чертежи:

- ситуационный план размещения предприятия, здания, сооружений с указанием на нем существующих и проектируемых внешних коммуникаций, инженерных сетей и селитебных территорий, границы санитарно-защитной зоны, особо охраняемые территории. Для линейных сооружений приводится план трассы (внеплощадочных и внутриплощадочных), а при необходимости – продольный профиль трассы;

- картограмма земельных масс;

- генеральный план, на котором нанесены существующие и проектируемые (реконструируемые), и подлежащие сносу здания и сооружения, объекты охраны окружающей среды и благоустройства, озеленения территории и принципиальные решения по расположению внутриплощадочных инженерных сетей и транспортных коммуникаций, планировочные отметки территории. Выделяются объекты, сети и транспортные коммуникации, входящие в пусковые комплексы.

В состав проектной документации должны включаться также технологические решения, содержащие данные о производственной программе; краткую характеристику и обоснование решений по технологии очистки воды, данные о трудоемкости автоматизации технологических процессов; сведения о составе оборудования и обоснование применяемого оборудования, в том числе, импортного, решения по применению ресурсосберегающих технологических процессов и производств, повторному использованию тепла и уловленных химреагентов; число рабочих мест и их оснащенность; характеристика межцеховых и цеховых коммуникаций.

В документации должны присутствовать решения по организации ремонтного хозяйства. Проектная документация в разделе «Технологические решения» должна содержать данные о количестве и составе вредных выбросов в атмосферу и сбросов в водные источники (по отдельным цехам, производствам, сооружениям); технические решения по предотвращению (сокращению) выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую природную среду; оценка возможности возникновения аварийных ситуаций и решения по их предотвращению, вид, состав и объем отходов водоподготовки и очистки воды, подлежащих утилизации и захоронению; топливно-энергетический и материальный балансы технологических процессов; потребность в основных видах ресурсов для технологических нужд, балансовые схемы водопотребления и водоотведения.

Технологические решения должны быть представлены графически. Графическая часть должна включать: принципиальные схемы технологических процессов; технологические планировки по корпусам (цехам) с указанием размещения оборудования и транспортных средств; схемы грузопотоков.

В проектной документации должен содержаться раздел: «Управление производством, предприятием и организация условий и охраны труда рабочих и служащих». Настоящий раздел выполняется в соответствии с нормативными документами Минтруда России.

Раздел «Архитектурно-строительные решения» должен включать: сведения об инженерно-геологических, гидрогеологических условиях площадки строительства; краткое описание и обоснование архитектурно-строительных решений по основным зданиям и сооружениям; обоснование принципиальных решений по снижению производственных шумов и вибраций, бытовому, санитарному обслуживанию работающих; мероприятия по электро-, взрыво- и пожаробезопасности; защите строительных конструкций, сетей и сооружений от коррозии. При этом разрабатываются следующие основные чертежи: планы, разрезы и фасады основных зданий и сооружений со схематическим изображением основных несущих и ограждающих конструкций.

Раздел «Инженерное оборудование, сети и системы» должен содержать решения по водоснабжению, водоотведению, теплоснабжению, газоснабжению, электроснабжению, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха. Необходимо дать описание инженерного оборудования зданий и сооружений, в том числе: электрооборудования, электроосвещения, связи и сигнализации, радиофикации и телевидения, противопожарных устройств и молниезащиты. Должны быть решены вопросы диспетчеризации и автоматизации управления инженерными системами. При этом разрабатываются следующие основные чертежи: принципиальные схемы теплоснабжения, электроснабжения, газоснабжения, водоснабжения и канализации и др.; планы и профили инженерных сетей; чертежи основных сооружений; планы и схемы внутрицеховых отопительно-вентиляционных устройств, электроснабжения и электрооборудования, радиофикации и сигнализации, автоматизации управления инженерными системами, внутрицеховых систем водоснабжения и водоотведения. Составляются спецификации оборудования, включая нестандартное.

Раздел «Организация строительства» разрабатывается в соответствии со СП 48.13330.2011 и с учетом условий и требований, изложенных в договоре на выполнение проектных работ и имеющихся данных о рынке строительных услуг.

В разделе проекта «Охрана окружающей среды» дается уточненная экологическая характеристика объекта на основании выбранных вариантов технических решений: источники загрязнения — объемы и виды воздействия, уточненные границы СЗЗ и ЗВ, характеристики фоновой загрязненности компонентов окружающей среды. Приводится эколого-экономическая оценка эксплуатации объекта, эффективность и достаточность природоохранных мероприятий; приводятся мероприятия по организации экологического контроля, мониторинга природной среды.

Раздел «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций» выполняется в

соответствии с нормами и правилами в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Для определения сметной стоимости строительства предприятия, зданий и сооружений (или их очередей) составляется сметная документация в соответствии с положениями и формами, приводимыми в нормативно-методических документах Минстроя России. Состав документации должен содержать: сводные сметные расчеты стоимости строительства и, при необходимости, сводку затрат; объектные и локальные сметные расчеты; сметные расчеты на отдельные виды затрат (в т.ч. на проектные и изыскательские работы).

В составе рабочей документации должны быть представлены объектные и локальные сметы. Для определения стоимости строительства рекомендуется использовать действующую сметно-нормативную (нормативно-информационную) базу, разрабатываемую, вводимую в действие и уточняемую в установленном порядке.

Стоимость строительства в сметной документации заказчика рекомендуется приводить в двух уровнях цен:

- в базисном (постоянном) уровне, определяемом на основе действующих сметных норм и цен.
- в текущем или прогнозном уровне, определяемом на основе цен, сложившихся ко времени составления смет или прогнозируемых к периоду осуществления строительства.

В состав сметной документации проектов строительства включается также пояснительная записка, в которой приводятся данные, характеризующие примененную сметно-нормативную (нормативно-информационную) базу, уровень цен и другие сведения, отличающие условия данной стройки.

Состав рабочей документации на строительство предприятий, зданий и сооружений определяется соответствующими государственными стандартами СПДС и уточняется заказчиком и проектировщиком в договоре (контракте) на проектирование. Государственные, отраслевые и республиканские стандарты, а также чертежи типовых конструкций, изделий и узлов, на которые имеются ссылки в рабочих чертежах, не входят в состав рабочей документации и могут передаваться проектировщиком заказчику, если это оговорено в договоре. Вместе с заданием на проектирование заказчик выдает проектной организации исходные материалы:

- обоснование инвестиций строительства данного объекта;
- решение местного органа исполнительной власти о предварительном согласовании места размещения объекта;
- акт выбора земельного участка для строительства и прилагаемые к нему материалы;
- архитектурно-планировочное задание, составляемое в установленном порядке;

- технические условия на присоединение проектируемого объекта к источникам снабжения, инженерным сетям и коммуникациям;
- сведения о проведенных с общественностью обсуждениях решений о строительстве объекта;
- исходные данные по оборудованию, в том числе индивидуального изготовления;
- необходимые данные по выполненным научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, связанным с созданием технологических процессов и оборудования;
- материалы инвентаризации, оценочные акты и решения органов местной администрации о сносе и характере компенсации за сносимые здания и сооружения;
- материалы, полученные от местной администрации и органов государственного надзора, в том числе характеристика социально-экономической обстановки, природных условий и состояния природной окружающей среды, данные о существующих источниках загрязнения и другие сведения в соответствии с требованиями природоохранных органов, санитарно-эпидемиологические условия в районе строительства;
- имеющиеся материалы инженерных изысканий и обследований, обмерочные чертежи существующих на участке строительства зданий и сооружений, подземных и наземных сетей и коммуникаций;
- задание на разработку тендерной документации на строительство (при необходимости);
- заключения и материалы, выполненные по результатам обследования действующих производств, конструкций зданий и сооружений;
- технологические планировки действующих цехов, участков со спецификацией оборудования и сведениями о его состоянии, данные об условиях труда на рабочих местах;
- условия на размещение временных зданий и сооружений, подъемно-транспортных машин и механизмов, мест складирования строительных материалов;
- другие материалы.

4.4. Эксплуатация и ремонт водоочистных комплексов

Эксплуатацию очистных сооружений осуществляют на основе их паспортов, технического описания завода-изготовителя и должностных инструкций персонала. В процессе работы персонал обязан:

- а) обеспечить равномерное поступление воды на каждое сооружение;
- б) вести наблюдения за степенью загрязнения фильтрующих и других элементов сооружений, не допуская превышения расчетного перепада воды;

в) своевременно осуществлять периодическую (или постоянную) промывку сетчатых поверхностей, объемной загрузки, подводящих и отводящих трубопроводов;

г) следить за исправностью оборудования, устранять течи через неплотности крепления сетчатых элементов и прорывы;

д) проводить профилактический и текущий ремонты установок.

4.4.1. Эксплуатация реагентного хозяйства

Коагулянты помещают на складах, где они хранятся в сухом состоянии (сухое хранение) или в виде концентрированных растворов (мокрое хранение). По санитарным условиям и удобству использования предпочтение следует отдавать мокрому хранению реагентов.

Процесс приготовления растворов, являющийся наиболее трудоемким, разделяется на следующие четыре этапа.

1. Подготовка сухих реагентов начинается с дробления крупных комьев сернокислого алюминия на более мелкие (диаметром не более 100 мм) сравнительно легко растворимые; затем следует навеска для одно- или двух загрузок и далее загрузка отвешенной порции в растворный бак. Все эти операции производят на складах реагентов.

2. Реагенты растворяют струей или потоком циркулирующей воды с перемешиванием содержимого в баке при помощи мешалки с электромеханическим приводом или воздуха. Растворение считается законченным после того, как в растворном баке останутся лишь нерастворимые куски породы и песок.

3. Приготовление рабочего раствора требуемой крепости осуществляют, разбавляя водой раствор, полученный при растворении реагента, после его перекачки в расходный бак. Практически крепость растворов оценивают в градусах по ареометру.

4. Последним этапом в работе реагентного хозяйства является подготовка растворных и расходных баков после их опорожнения к растворению следующей порции реагента (удаление осадка, состоящего из нерастворившихся частиц и песка).

Оптимальные соотношения смешиваемых концентраций рабочих растворов реагентов и количество обрабатываемой воды определяют предварительно в лабораторных условиях и уточняют в процессе эксплуатации в зависимости от качества реагентов и обрабатываемой воды.

При перерывах в подаче растворов реагента после каждого прекращения подачи раствора реагентопроводы, растворные и расходные баки и насосы-дозаторы должны быть промыты очищенной водой.

При эксплуатации персонал обязан:

а) своевременно приготовить необходимое количество растворов реагентов требуемой концентрации;

б) вводить реагенты в обрабатываемую воду с соблюдением установленных доз и последовательности их введения;

в) систематически наблюдать за правильностью работы устройств приготовления и дозирования реагентов, средств контроля и автоматизации;

г) вести учет расходования реагентов и своевременно их заказывать с учетом вместимости складов.

При приемке каждой новой партии реагентов проверяют наличие сертификатов, удостоверяющих их качество и соответствие требованиям стандарта. Каждую партию поступающих на предприятие реагентов подвергают контрольному анализу на содержание в продукте активной части реагента и примесей.

На складах реагентов запрещается хранить:

а) в одном помещении реагенты, которые могут химически взаимодействовать между собой;

б) взрывчатые и огнеопасные вещества, смазочные масла, баллоны со сжатыми газами, пищевые продукты и пр.;

в) реагенты в количествах, превышающих расчетную вместимость складов.

Режимы реагентной обработки воды в различные периоды года и виды применяемых реагентов устанавливают на основе данных физико-химических, санитарно-биологических и технологических анализов и опыта обработки воды. В реагентном цехе контролируют:

а) количество загружаемого реагента — при каждом приготовлении по массе или объему;

б) периодичность и длительность загрузки — посменно;

в) длительность и интенсивность перемешивания, продолжительность отстаивания раствора — по мере растворения;

г) концентрацию раствора в реагентных баках — по мере растворения реагента или разбавления растворов;

д) уровни растворов в баках — в процессе расходования растворов;

с) точность дозировки растворов — ежечасно и возможно чаще при изменении расхода очищаемой воды и концентрации раствора реагента;

ж) работу механических дозаторов сухих реагентов — не реже одного раза в смену;

з) после 4—6 циклов приготовления растворов реагентов из реагентных баков и бункеров удаляют осадки (или по мере накопления осадка в них);

и) состояние дозирующих устройств — ежеквартально или не реже двух раз в год.

4.4.2. Эксплуатация смесителей и камер хлопьеобразования

Контроль работы смесителей и камер хлопьеобразования осуществляют по технологическим картам, содержащим контролируемые технологические параметры работы сооружений и указания по методикам, способам,

периодичности их контроля. При эксплуатации смесителей и камер хлопьеобразования персонал обязан:

а) вести постоянное наблюдение и осуществлять контроль над равномерным распределением реагентов в массе обрабатываемой воды по их концентрации в разных точках живого сечения потока при выходе из смесителя;

б) очищать смесители от накопившегося в них осадка;

в) следить за исправностью механического оборудования смесителей;

г) прочищать отверстия в перфорированных распределителях реагентов;

д) осуществлять контроль скорости движения воды.

Камеры смесителей очищают не реже одного раза в год. Осмотр и чистку камер производят в периоды их наименее напряженной работы.

Режим работы камер хлопьеобразования должен обеспечивать наилучшие условия формирования хлопьев коагулированной взвеси перед поступлением очищаемой воды на отстойники или фильтры.

Независимо от объема накопившегося осадка камеры хлопьеобразования очищают не реже одного раза в год или чаще, если этого требуют местные условия. При их очистке проверяют наличие, количество и характер расположения осадков, состояние стенок, перегородок, мест присоединения трубопроводов, задвижек и другого оборудования и принимают меры к устранению обнаруженных дефектов.

При очистке лопастных камер хлопьеобразования необходимо особенно тщательно произвести осмотр и, если требуется, ремонт подводной части мешалок, проверить состояние валов, подшипников, сальников и другого оборудования.

4.4.3. Эксплуатация отстойников и осветлителей с взвешенным осадком

В практике эксплуатации работа отстойников оценивается «процентом задержания взвеси», представляющим собой отношение количества выпавшей взвеси к полному количеству взвеси, находящейся в воде. Дополнительно работу горизонтальных отстойников рекомендуется оценивать по слою распределения осадка по дну. Графическая интерпретация этих измерений показывает, насколько полно использовано сооружение, в какой части его происходит выпадение осадка и от чего оно зависит.

Хорошая работа отстойников зависит от химической подготовки обрабатываемой воды, рода и характера образующихся хлопьев коагулянта, захватывающих своими хлопьями взвесь. Чем больше хлопьев и чем они крупнее, тем интенсивнее выпадает осадок, распределяясь по дну, главным образом в начале (в первой трети или первой половине) отстойника.

В процессе эксплуатации перегородчатых камер хлопьеобразования и горизонтальных отстойников дежурный оператор наблюдает за ходом реакций реагентов с водой и характером образования хлопьев коагулянта, а также за хлопьями, не осевшими в отстойнике, и в зависимости от результатов анализов

уточняется доза реагентов. Мутность отстоянной воды должна быть нормально 8-12 мг/л и периодически – не более 20 мг/л.

Дежурный оператор должен регулировать равномерное распределение поступающей в отдельные камеры хлопьеобразования и отстойники воды, наблюдать за равномерным слоем перелива через кромки желобов поступающей в отстойник и отводимой из него воды; кромки лотков следует периодически осматривать и очищать от образующихся органических скоплений, а при необходимости – выравнивать. Также определяется высота слоя осадка в отстойниках – вручную или с помощью датчиков.

Осадок из горизонтальных отстойников при отсутствии системы гидравлического отвода осадка обычно удаляют 2 раза в год (весной и осенью), и лишь в некоторых случаях при очистке воды с большой мутностью и высокой цветностью осадок из отстойников удаляют чаще. В начале и конце отстойника должны быть подведены трубопроводы диаметром 50 мм от внутреннего водопровода станции с устройствами для подключения шлангов при промывке отстойников. Загрязнения со стенок и перегородок удаляются щетками, а затем дезинфицируются хлорной водой с дозой активного хлора 25 мг/л.

При эксплуатации отстойников персонал обязан:

а) контролировать по мере изменения режимов подачи воды равномерность распределения воды между отдельными сооружениями (но не менее 1 -2 раз в сутки);

б) обеспечивать правильность распределения воды по площадям самих отстойников, своевременно устраняя перекосы кромок лотков, желобов и т.д.;

в) вести наблюдение за накоплением (высотой слоя) осадка и его влиянием на режим работы сооружений (5-6 раз между чистками);

г) регулярно удалять осадок (частично или полностью) в соответствии с установленным графиком промывки;

д) учитывать потери воды при сбросе осадка;

е) следить за состоянием устройств для отведения осветленной воды и избыточного осадка, трубопроводов, задвижек и лотков, тонкослойных модулей.

Основным условием нормальной работы осветлителей со слоем взвешенного осадка при их эксплуатации является накопление стабильного и плотного слоя взвешенного осадка, что достигается подбором оптимальных доз реагентов и бесперебойной подачей их в обрабатываемую воду.

Эксплуатация осветлителей со взвешенным осадком сводится к следующему.

I. Наиболее важным является первоначальный пуск и наладка процесса осветления воды: осветлитель начинает нормально работать после образования взвешенного слоя, что происходит через некоторый промежуток времени после начала коагулирования воды. Наладка работы осветлителя требуется при пуске вновь построенного сооружения и после его ремонта, а также после каждой очистки и при переходе от зимнего режима работы осветлителя к весеннему, от летного – к зимнему.

Особенно тщательно нужно следить за работой осветлителя во время весеннего паводка, когда наблюдается низкая коагулируемость речной воды при большом количестве очень мелких взвешенных веществ.

При подборе дозы коагулянта на период созревания осветлителя необходимо добиваться образования крупных и неразбивающихся хлопьев, не стремясь в это время к экономии коагулянта.

Летом образование взвешенного слоя происходит в течение 3-4 ч, весной при начале коагулирования после зимнего перерыва – значительно медленнее, и хорошие результаты осветления воды достигаются лишь через 12-20 ч.

2. Общим требованием нормальной работы осветлителя является содержание взвешенных веществ в осветленной воде не более 8-12 мг/л (при исходной – не более 150 мг/л), что зависит от скорости восходящего потока в зоне осветления и коэффициента распределения воды между зоной осветления и осадкоуплотнителем.

3. По мере накопления осадка в осадкоуплотнителе производится выпуск его из осветлителя – с частичным или полным спуском. Выпуск осадка необходим перед тем, как хлопья коагулянта начнут выноситься с осветленной водой и появятся клубы замутненной воды на поверхности центрального осадкоуплотнителя. Частота выпуска осадка зависит от интенсивности его накопления, т.е. от содержания взвешенных веществ в осветляемой воде, поступающей в осветлитель, и объема зоны накопления и уплотнения осадка. Практически при установившемся режиме эксплуатации осветлителей осадок выпускают летом 1 раз в сутки, а при повышенной мутности осветляемой воды – 2 раза. При этом, не прекращая поступления воды в осветлитель, часть объема воды спускают из осветлителя через осадкопускную трубу, спускаемая вода уносит осадок из зоны его уплотнения, понижение уровня воды в осветлителе достигает обычно 0,5 м, выпуск осадка продолжается 4-5 мин.

4. В процессе эксплуатации осветлителей персонал должен также следить за сбором осветленной воды и при необходимости прочищать затопленные отверстия водосборных труб и желобов.

В осветлителях с взвешенным осадком контролируют:

а) длительность зарядки взвешенного слоя после полного опорожнения и включения в работу;

б) уровень взвешенного осадка — по мере изменения скоростного и температурного режимов работы осветлителя, а также режима дозирования реагентов (но не реже 2 раз в смену);

в) скорость восходящего потока воды в рабочей зоне осветлителя – 2-3 раза после пуска по мере изменения режима подачи воды;

г) количество воды, отводимой из верхней зоны уплотнения осадка, – по мере изменения количества подаваемой воды и режима ее реагентной обработки (не реже 2 раз в смену);

д) периодичность и длительность выпуска осадка – по мере накопления и подъема осадка до критического значения его уровня;

е) влияние суточных колебаний температуры воды источника на работу осветлителя – 1-2 раза в смену;

ж) потери воды при продувке и продолжительность продувки – при каждой продувке.

При периодическом опорожнении сооружений для чистки (после удаления осадка стены) перегородки и днище сооружений обмывают водой, подаваемой из брандспойта. По окончании чистки осветлителя его подвергают дезинфекции хлорной водой дозой по активному хлору 25 мг/л с контактом более 24 ч с последующей промывкой водой из водопровода.

4.4.4. Эксплуатация скорых фильтров

Скорость фильтрования за время цикла работы фильтра до промывки должна быть постоянной, что обеспечивается за счет увеличения слоя воды над загрузкой (т.е. увеличением расхода воды, подаваемой на фильтр). Грязеемкость скорых однопоточных фильтров при очистке коагулированной и предварительно осветленной (в отстойниках или осветлителях) воды составляет 0,4-0,6 кг на 1 м² фильтрующей поверхности. Она тем больше, чем больше пористость песка и высота фильтрующего слоя. Для поддержания постоянной скорости фильтрования либо применяют автоматические регуляторы скорости фильтрования, либо регулируют ее вручную при помощи задвижки на трубопроводе, отводящем фильтрованную воду.

Критерием работы фильтра правильнее считать не скорость фильтрования, а грязеемкость фильтра – количество осадка (хлопьев коагулянта и мути) в килограммах, которое задерживается в фильтре, отнесенное к 1 м² фильтра или к 1 м³ загрузки за цикл работы фильтра.

Промывка фильтра производится с целью восстановления его фильтрующей способности удалением загрязнений, накопленных в процессе фильтрования в слое фильтрующей загрузки.

Окончание фильтроцикла и необходимость проведения промывки загрузки фильтровальных сооружений определяются истечением времени защитного действия загрузки, сопровождающимся нарастающим ухудшением качества профильтрованной воды, или достижением величины предельных потерь напора в загрузке, проявляющейся в уменьшении скорости фильтрования ниже установленного предела с учетом резерва времени, исключающего вынос загрязнений из сооружений.

Понижать уровень воды на фильтре ниже уровня песка не следует во избежание насыщения песка воздухом. Отводимая трубопроводами и каналами промывная вода не должна создавать подпора в желобах и фильтре. Промывку фильтра заканчивают, когда сливающаяся в желоба вода не будет содержать заметной на глаз мути. Принятая и проверенная опытом интенсивность промывки фильтра фиксируется величиной открытия задвижек на трубе у промывного насоса или у напорного бака.

Не реже одного раза в месяц следует проверять интенсивность промывки. При чрезмерной интенсивности увеличиваются бесполезные потери воды и уносится из загрузки песок; при малой интенсивности песок ввиду недостаточной промывки интенсивно загрязняется, т.е. песчинки обволакиваются грязью и начинают слипаться сначала в шарики, а затем в комы и, наконец, в «мертвые» (неработающие) площади фильтра.

При промывках необходимо обращать особое внимание на наличие непромытых пятен на поверхности песка или воронок (провалов), что указывает на неисправность дренажа. При перезагрузке фильтров следует тщательно осмотреть весь дренаж и опробовать его на подачу воды без загрузки; замеченные ненормальности (закупорка отверстий в трубах, большие свищи, провал решетки и т.п.) должны быть устранены.

Полностью или хотя бы до уровня песка воду из фильтра спускают только в случаях крайней необходимости (например, для осмотра состояния поверхности загрузки, результатов промывки и др.); если фильтр по каким-либо причинам был опорожнен, то до начала процесса фильтрования воды его нужно заполнить до верхней кромки желобов водой снизу через дренаж. Напускать воду на фильтр через дренаж и желоба нужно постепенно, чтобы не повредить поверхность песка.

Управление работой фильтра состоит в регулировании расхода воды на очистку, регулировании скорости фильтрования воды (поддержание постоянной скорости) и проведении промывки для удаления задержанных фильтром загрязнений. Для поддержания постоянной (неизменной) величины скорости фильтрования вводится искусственное дополнительное сопротивление – регулятор скорости фильтрования с постепенным изменением этого сопротивления от максимума до нуля. Промывка фильтра должна производиться, когда скорость фильтрования при полностью открытом регуляторе скорости фильтрования станет меньше расчетной величины. В очень загрязнившемся фильтре потеря напора может быть так велика, что в толще фильтрующей загрузки возникает вакуум. Во избежание образования вакуума под фильтрующей загрузкой дренажная система фильтра должна быть соединена с атмосферой при помощи специальной трубки, выведенной выше поверхности воды в фильтре. Свободный конец этой трубки должен быть направлен вниз во избежание разлива промывной воды по помещению фильтров.

Загрузка фильтров (песок, антрацитовая крошка и др.) должна иметь надлежащий фракционный состав и достаточную однородность, механическую прочность (характеризуется показателями истираемость и измельчаемость) и химическую стойкость зерен по отношению к фильтруемой воде; она должна быть также достаточно пористой.

Применение слишком крупного фильтрующего материала не обеспечивает необходимой степени осветления воды, а применение очень мелкого влечет за собой сокращение фильтроцикла, перерасход промывной воды, вынос и потерю загрузки с промывной водой и как следствие — увеличение эксплуатационных

затрат на очистку воды. Неоднородность фильтрующего материала ухудшает условия его промывки: загрузка промывается недостаточно, в результате чего загрязнение ее все время увеличивается, что приводит к цементации, растрескиванию и необходимости химической обработки или преждевременной смены. При неоднородном по крупности материале ухудшается и фильтрование воды, так как при промывке фильтра вследствие происходящей гидравлической сортировки песка мелкие фракции располагаются у поверхности фильтрующего слоя. Поэтому содержащиеся в воде взвешенные вещества не проникают вглубь, а образуют на поверхности фильтрующего слоя плотную пленку, что приводит к более быстрому нарастанию сопротивления в фильтрующем слое и сокращению фильтроцикла.

При ремонтах фильтров фильтрующий материал приходится выгружать обратно обычно вручную.

После загрузки и предварительной промывки фильтр должен быть прохлорирован водой, содержащей 20-30 г/м³ активного хлора при суточном контакте, с последующей промывкой фильтра до содержания в промывочной воде остаточного хлора 0,2-0,3 мг/л.

При эксплуатации фильтровальных сооружений персонал обязан:

- а) обеспечивать равномерное распределение воды между сооружениями и по площади каждого сооружения;
- б) поддерживать заданные скорости фильтрования, вести наблюдение за приростом потерь напора и качеством фильтрованной воды;
- в) обеспечивать поддержание на сооружениях заданного уровня воды;
- г) своевременно отключать сооружения для промывки и вести наблюдение за эффектом промывки;
- д) своевременно заполнять водой промывные баки;
- с) следить за состоянием задвижек, затворов, гидро- и электроприводов, приборов контроля и средств автоматики, промывных насосов и другого оборудования;
- ж) не допускать перемешивания слоев и смещения фильтрующей загрузки в горизонтальной плоскости;
- з) вести систематический учет работы сооружений соответствующими отметками в журнале;
- и) обеспечивать надлежащее санитарное состояние фильтровального зала и прилегающей территории.

Контроль фильтровальных сооружений осуществляют по технологическим картам.

В процессе эксплуатации проверяют соответствие состава и высоты слоя загрузки проектным значениям. При необходимости заменяют фильтрующий материал более эффективным по адгезионным свойствам. Фильтрующие материалы укладывают слоями. Не допускаются отклонения в отметках отдельных участков слоев более 5 мм. Горизонтальность укладываемых слоев проверяют по уровню воды, напускаемой в сооружение после укладки каждого слоя. Мелкие фракции и глинистые примеси вымывают обратным током воды.

Скорость фильтрации уточняют и оптимизируют в процессе эксплуатации на основе технико-экономических показателей работы фильтровальных сооружений, определяемых по расходу и качеству исходной и обрабатываемой воды, продолжительности фильтроцикла, расходу воды на промывку и периодичности ее проведения, необходимости применения реагентов перед фильтровальными сооружениями.

Число промывок каждого фильтра (не более 3 раз в сутки и не реже 1 раза в 2 суток) увязывают с графиком работы очистных сооружений по их производительности и количеством фильтровальных сооружений, находящихся в данный момент в ремонте. Во избежание смешения подстилающих слоев и перемешивания фильтрующих слоев загрузки при промывке включение и выключение фильтровальных сооружений производят с постепенным, в течение 1-1,5 мин, наращиванием или снижением расхода промывной воды.

Объем остаточных загрязнений должен контролироваться 1 раз в 2 года. Он не должен превышать 1 % (считая по массе пробы загрузки) за 3 месяца. При превышении объема остаточных загрязнений производится химическая промывка или замена загрузки.

Рекомендуется 2 раза в год проводить дезинфекцию загрузки и очистку и дезинфекцию фильтров.

4.4.5. Эксплуатация установок по обеззараживанию хлором

При эксплуатации систем обеззараживания воды и сточных вод персонал обязан:

- а) поддерживать заданный режим работы основного и вспомогательного оборудования, обеспечивать их безаварийную работу;
- б) следить за соблюдением установленного расхода обеззараживающего реагента;
- в) контролировать концентрацию остаточного хлора в воде в установленном интервале времени;
- г) проводить ревизию хлораторов и запорной арматуры не реже 1 раза в квартал (с заменой сальниковой набивки), ревизию грязевиков – не реже 1 раза в 2 года при двух хлораторах и ежегодно – при большем числе хлораторов;
- д) своевременно по графику выполнять ППР оборудования;
- е) периодически отбирать пробы воды после обеззараживания для микробиологического анализа;
- ж) следить за показаниями контрольно-измерительных приборов и функционированием средств автоматики;
- з) принимать меры к устранению неполадок в работе установок;
- и) следить за работой систем вентиляции, в том числе аварийной;
- к) следить за системой контроля содержания хлора в воздухе рабочей зоны;
- л) вести учет расхода реагентов, электроэнергии, воды на собственные нужды установок для обеззараживания;

м) выполнять требования техники безопасности.

Хлораторные (склады хлора) должны быть оборудованы системами локализации и нейтрализации аварийного выброса. Эти системы должны обеспечивать ликвидацию последствий аварий, вызванных выбросом хлора из одного сосуда максимальной емкости (контейнер – 1000 кг, баллон – 50 кг).