

РАЗДЕЛ 3. ОЧИСТКА И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД

3.1. 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).

3.1.1. 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 степени – 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 3.1

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.

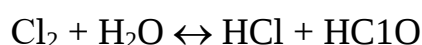
Хлорирование воды осуществляют жидким (газообразным) хлором. На водоочистных комплексах с расходом до 3000 м³/сут допускается применение хлорной извести.

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 заблокированы 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 окисдирующее воздействие на микроорганизмы оказывает как сама хлорноватистая кислота, так и главным образом гипохлоритный ион. Степень диссоциации хлорноватистой кислоты зависит от pH:

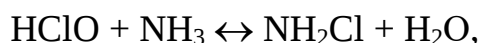
pH	4	5	6	7	8	9	10	11
OCl^-	0,05	0,5	2,5	21,0	75,0	97,0	99,5	99,9
HOCl	99,95	99,5	97,5	79,0	25,0	3,0	0,5	0,1

При использовании вместо хлора хлорной извести протекает реакция:

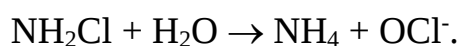


Доза вводимого хлора должна быть больше величины хлоропоглощаемости на величину остаточного хлора, присутствие которого является гарантией того, что оксидация бактерий и органических веществ в воде практически завершена.

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.

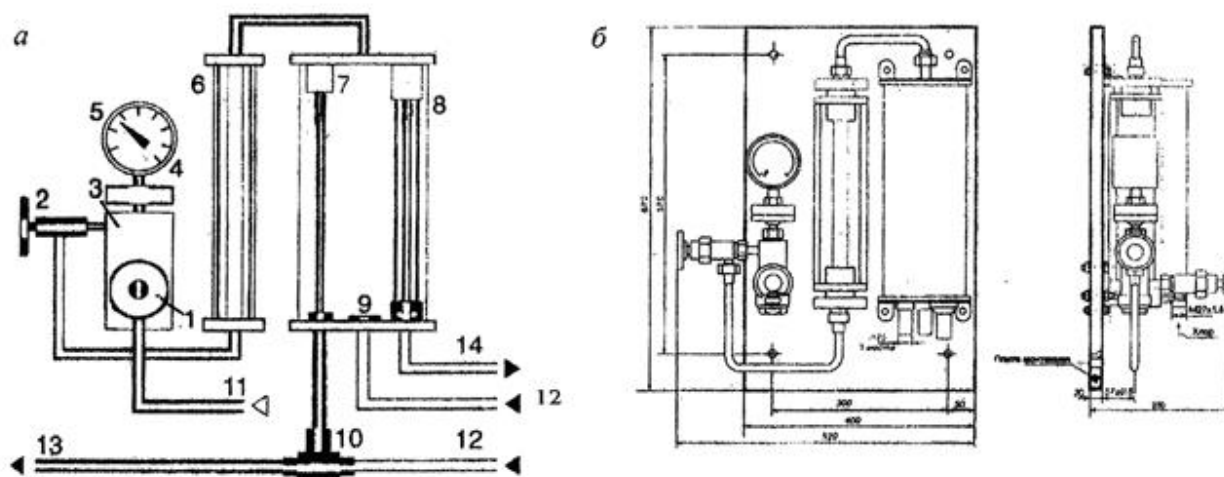


Рис. 3.1. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) хлоратора АХВ-1000 специализированного предприятия КРАВТ:

1 – кран запорный; 2 – кран регулирующий; 3 – фильтр; 4 – камера мембранная; 5 – манометр; 6 – ротаметр; 7 – рефлектор; 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 3.2.

Таблица 3.2

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.

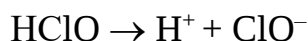
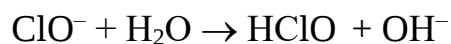
Гипохлорит натрия – малоустойчивое вещество и при хранении подвержен саморазложению. Механизм саморазложения определяется формами активного хлора, которые присутствуют в растворе и определяются значением рН раствора. Наиболее устойчивы растворы гипохлорита натрия при $\text{pH} > 11$.

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 pH 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 pH 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 pH 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. 3.2). 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.

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.



Рис. 3.2. Установка АКВАХЛОР-3000.

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.

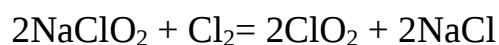
Учитывая особенности физических и физико-химических свойств (диоксид хлора взрывоопасен при повышенных концентрациях и не может сжижаться, храниться и перевозиться), он готовится только в форме водных растворов на месте использования с применением специального аппаратного оформления.

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. 3.3). 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. 3.4). 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.

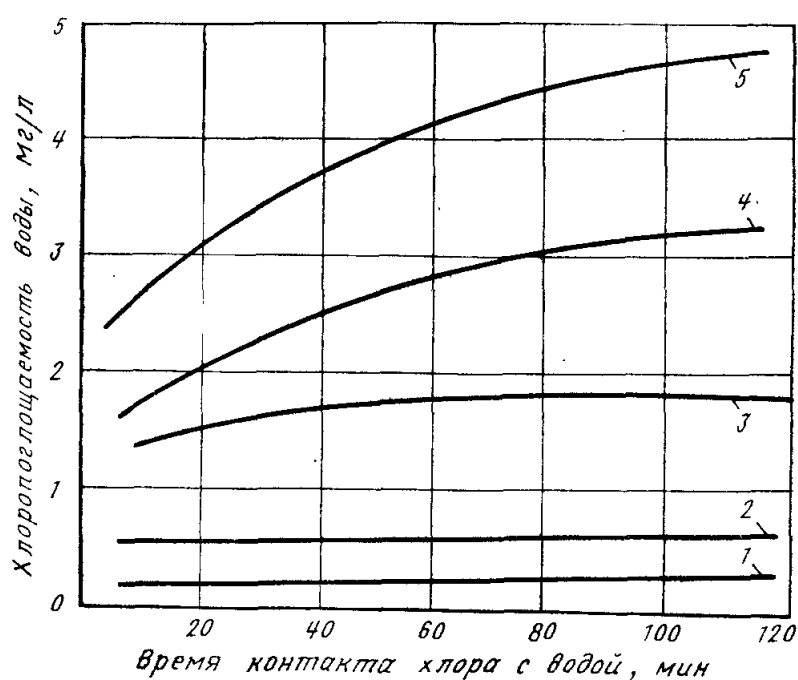


Рис. 3.3. Зависимость хлоропоглощаемости от времени контакта хлора с водой: дозы хлора, мг/л: 1 – 0,5; 2 – 0,75; 3 – 2,0; 4 – 4,0; 5 – 20,0.

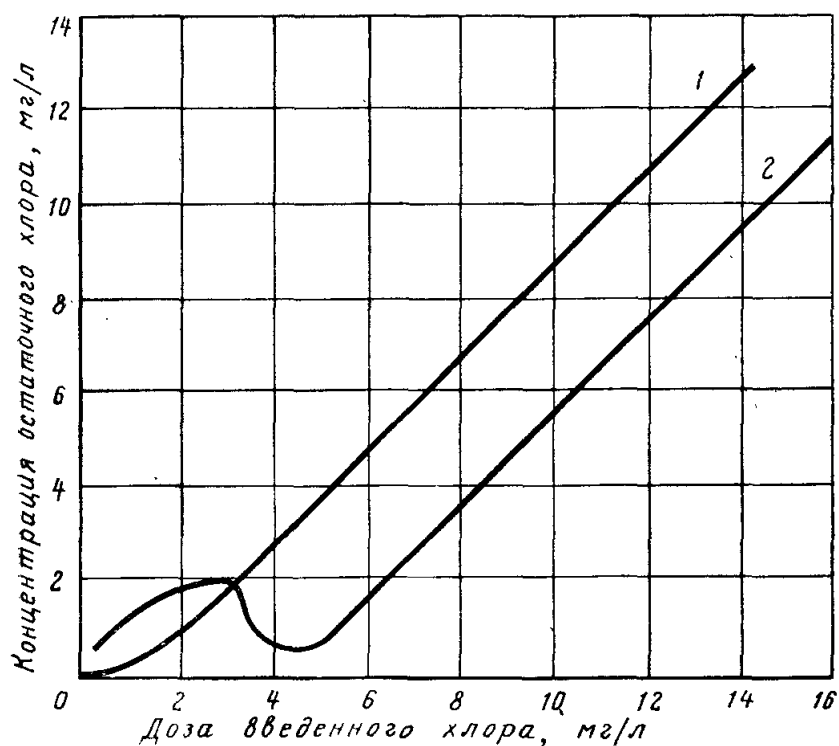


Рис. 3.4. Зависимость остаточного хлора от дозы введенного в воду при отсутствии (1) и при наличии (2) в ней аммонийных солей

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.

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. 3.5. *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 озоно-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.

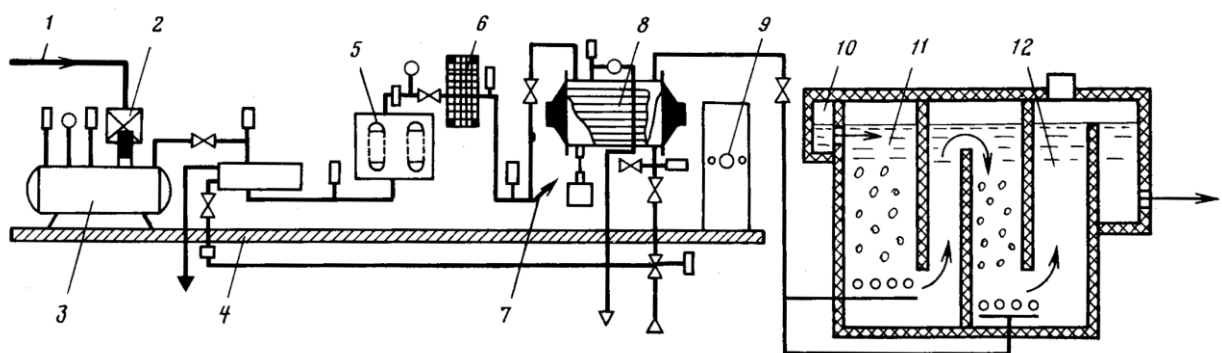


Рис. 3.5. Схема озонаторной установки:

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. 3.6. Двухсекционная барботажная контактная камера (рис. 3.6, 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.

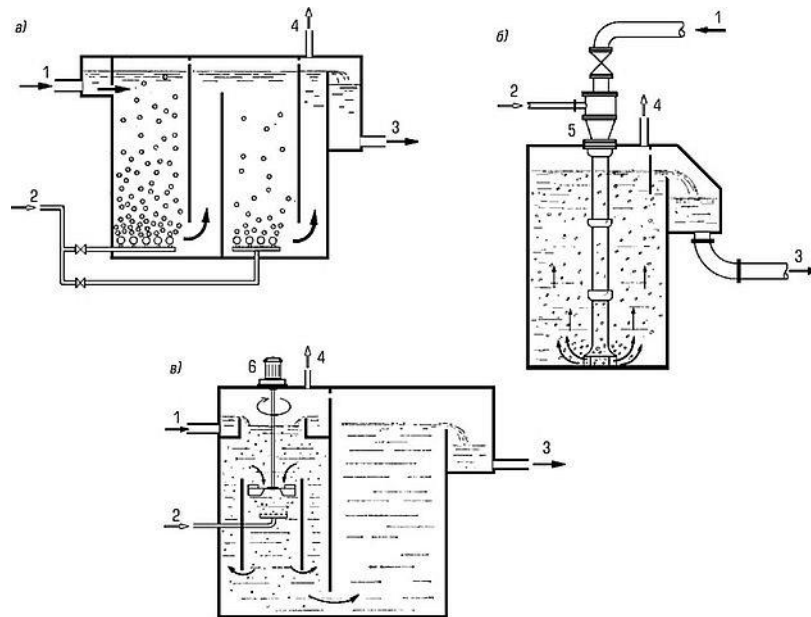


Рис. 3.6. Контактные камеры:

а – двухсекционная барботажная; б – камера, оборудованная инжектором; в – камера, оборудованная импеллером; 1, 3 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – подача озono-воздушной смеси; 4 – выпуск отработанной озono-воздушной смеси; 5 – инжектор; 6 – импеллерное устройство

Движение обрабатываемой сточной воды и озono-воздушной смеси в контактной камере по встречным направлениям обеспечивает большую эффективность озонирования. Барботажные контактные камеры могут быть одно- и многоступенчатыми.

На рис. 3.6, б дан пример контактной камеры с инъекцией озono-воздушной смеси сточной водой, подаваемой под давлением. Водо-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. 3.6, 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. 3.7).

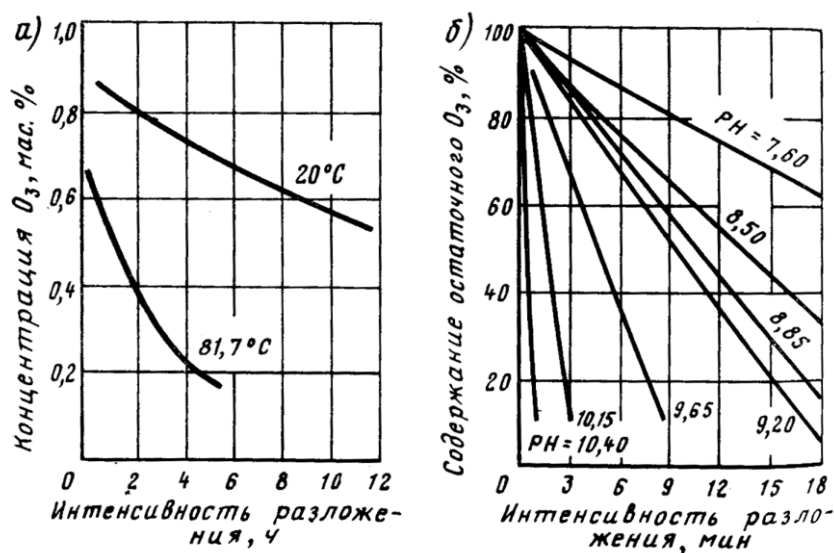


Рис. 3.7. Влияние температуры (а) и величины pH (б) на интенсивность разложения озона

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 хлоридов, 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.

3.1.2. 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. 3.8) 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.

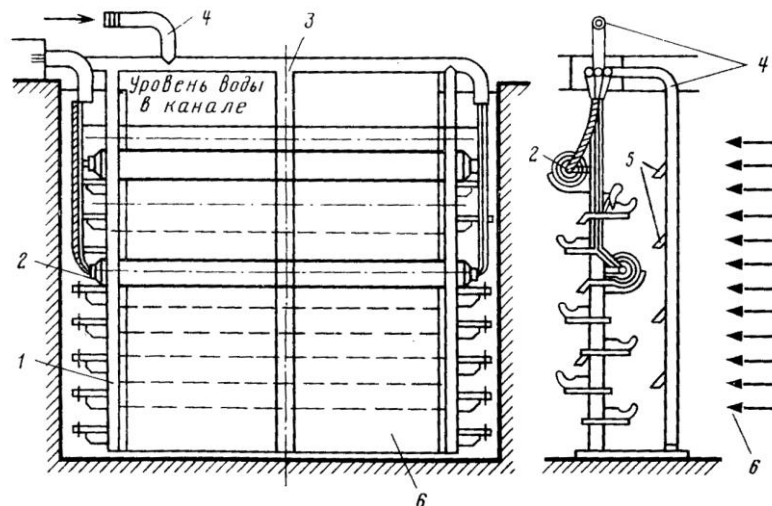


Рис. 3.8. Бактерицидная установка ОВ-3П-РКС:

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 подрусовые 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. 3.9. Внешний вид бактерицидных установок.



Рис. 3.10. 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. 3.10). 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.

3.2. Мембранная микро- и ультрафильтрация для очистки природных вод

3.2.1. Введение

Ультрафильтрация – мембранный процесс, занимающий по своим селективным характеристикам промежуточное положение между нанофильтрацией и микрофильтрацией. Ультрафильтрационные мембраны имеют размер пор от 0,005 до 0,1 мкм и эффективно извлекают из воды тонкодисперсные и коллоидные примеси, высокомолекулярные вещества, водоросли, одноклеточные микроорганизмы, цисты, бактерии и вирусы. Но при этом они практически не задерживают растворенные в воде соли, что позволяет сохранить естественный солевой состав природной воды. Особенность мембранной технологии ультрафильтрации заключается в том, что задержанные на поверхности мембраны загрязнения удаляются с помощью гидравлических промывок «обратным током» – очищенная вода проходит через мембрану «снизу-вверх», размывает осадок и уносит загрязнения. Высокий уровень очистки, достигаемый с помощью ультрафильтрации, позволяет рассматривать этот метод как альтернативу традиционным процессам осветления, фильтрования и обеззараживания.

Применение ультрафильтрации может позволить отказаться от таких технологических процессов, как отстаивание и фильтрование. Используя ультрафильтрационную технологию, можно добиться улучшения степени

осветления воды без увеличения дозы коагулянта, а в ряде случаев – достичь снижения мутности, цветности и окисляемости без использования реагентов.

Первое направление использования ультрафильтрации – в качестве альтернативы традиционным методам обеззараживания: обычные ультрафильтрационные мембраны с размером пор 0,01 – 0,05 мкм служат надежным барьером для патогенных микроорганизмов и вирусов. Они позволяют достичь 99,99%-го удаления вирусов и цист патогенных микроорганизмов, в том числе Гардии и Криптоспоридиум, и практически 100%-го задержания бактерий и простейших.

Такие системы ультрафильтрационной очистки главным образом служат для обработки воды из подземных источников неглубокого залегания, их задачей является безреагентное обеззараживание и осветление воды при периодических повышениях мутности и микробиологической загрязненности воды, происходящих после дождей и весеннего снеготаяния.

Второе направление связано с предочисткой перед обратным осмосом в схемах умягчения, опреснения и обессоливания поверхностных вод для нужд питьевого водоснабжения, промышленности и энергетики.

Используя ультрафильтрацию вместо традиционной схемы водоподготовки, включающей коагуляцию, отстаивание и многоступенчатое фильтрование, можно получить воду с очень низким содержанием взвешенных и коллоидных веществ и в результате повысить производительность и продолжительность службы обратноосмотических мембран, сократить частоту их химических промывок.

Наибольший интерес представляет третье направление развития ультрафильтрации – использование ее как альтернативного высокотехнологичного процесса в схемах очистки и кондиционирования природной воды. Главное достоинство данной области применения мембранной технологии заключается в возможности получения высоких

эффектов очистки без использования дополнительных стадий обработки воды и реагентов.

Развитие технологии изготовления мембран и мембранных элементов, увеличение удельной производительности и долговечности мембран, возможность создания на их основе полностью автоматизированных установок делает мембранные методы очистки воды все более конкурентоспособными по сравнению с традиционными схемами обработки подземных и поверхностных вод, основанных на использовании коагуляции, отстаивания, фильтрования и хлорирования.

Ультрафильтрационные мембраны обеспечивают более тонкую очистку воды от взвешенных и коллоидных веществ, чем скорые фильтры, и вместе с тем позволяют обрабатывать воду с высокой мутностью без ухудшения качества фильтрата. Это обеспечивается благодаря появлению особых конструкций мембранных аппаратов и разработке эффективных методик регулирования параметров работы мембранной установки очистки воды.

Большинство ультрафильтрационных мембран работает при давлениях 0,5 – 3,0 атм, поэтому в отличие от других мембранных методов – нанофильтрации и обратного осмоса, где требуются относительно высокие рабочие давления, для ультрафильтрации нет необходимости использовать специальные высоконапорные гидравлические системы и особые напорные корпуса, что позволяет удешевить саму конструкцию установок и снизить ее энергопотребление.

Вопросы получения полимерных мембран, конструирования мембранных аппаратов и установок, основные закономерности мембранного переноса представлены в соответствующих главах.

3.2.2. Теоретические основы процесса ультрафильтрации

Важной задачей при работе ультрафильтрационных установок является контроль и управление процессом накопления загрязнений на мембранах. Решение этой задачи заключается, во-первых, в создании такого режима работы мембранных аппаратов, при котором загрязнение мембран было бы минимальным, а во-вторых, в выборе подходящего материала мембраны, который был бы наименее чувствителен к загрязнениям, характерным для данного состава исходной воды. Кроме того, сама конструкция мембранного элемента должна позволять проводить гидравлические промывки мембраны с максимальной эффективностью.

Для борьбы с ростом осадка над поверхностью мембраны создают дополнительный поток из обрабатываемой жидкости, который размывает накапливающийся осадок. Жидкость (концентрат), содержащая удаленные с поверхности мембраны загрязнения, выводится из разделительного аппарата. Для более эффективного удаления загрязнений с поверхности и из пор мембраны используют метод обратных промывок, при котором очищенную воду (фильтрат) пропускают через мембрану в направлении, обратном направлению фильтрования. Такие промывки производятся чаще, чем промывки обычных фильтров с зернистой загрузкой – для ультрафильтрационных мембран, предназначенных для очистки поверхностных вод, их частота колеблется от 1 до 4 раз в час, но продолжительность промывки составляет всего 10 – 60 секунд, поэтому объем сбрасываемой воды не превышает 5% от объема фильтрата. Схема процесса очистки воды с применением ультрафильтрационных мембран показана на рис. 3.11.

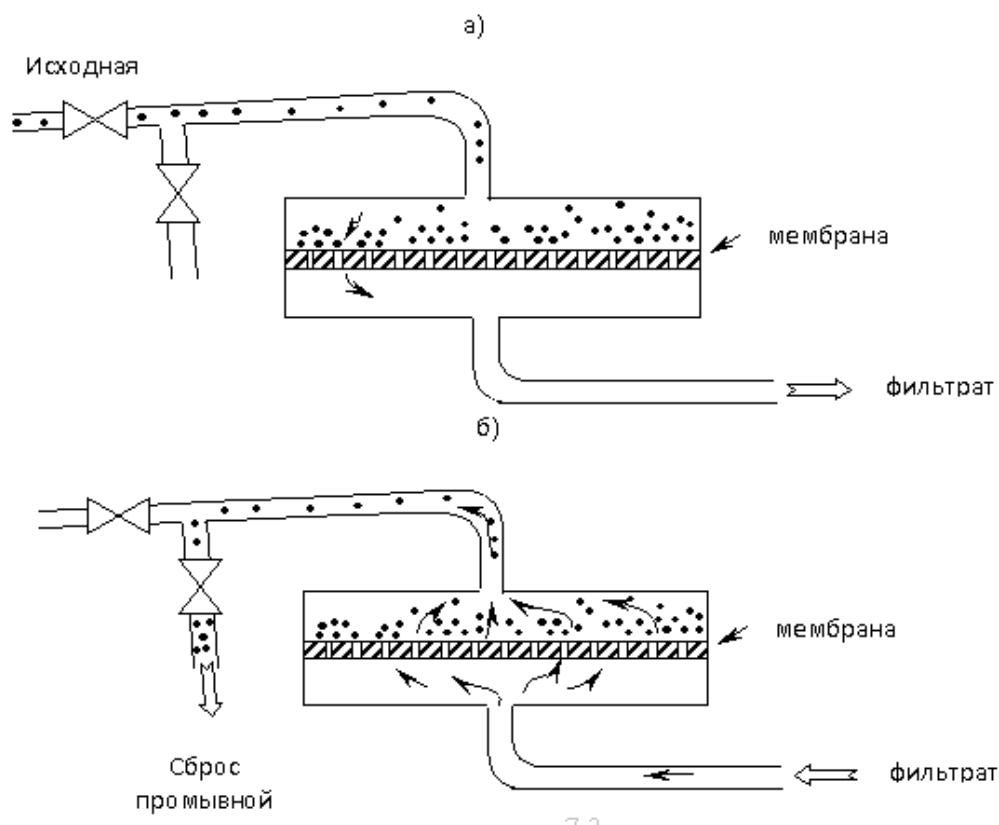


Рис. 3.11. Принцип работы ультрафильтрационного аппарата:

а) рабочий цикл (фильтрация) б) цикл промывки.

Для мембранной очистки наиболее важными являются следующие свойства органических соединений: природа их образования, гидрофильность, заряд в водных растворах, распределение по молярному весу. Кроме того, необходимо учитывать водородный показатель, общее солесодержание и жесткость воды. Эти показатели качества природных вод вместе со свойствами органических веществ влияют на селективные свойства и загрязнение мембран.

Производительность ультрафильтрационного мембранного аппарата при работе в «тупиковом» режиме описывается в общем виде следующей зависимостью:

$$Q = \frac{\Delta P \cdot S}{\mu(R_m + R_z + R_{oc})} \quad (3.1)$$

где ΔP – разница давлений над и под мембраной (исходной воды и фильтрата); S – площадь мембран в аппарате; μ – динамическая вязкость воды; R_m – сопротивление мембраны; R_z – дополнительное сопротивление мембраны за счет закупоривания ее пор; R_{oc} – сопротивление осадка на поверхности мембраны.

Величина R_z зависит от соотношения размеров частиц и пор мембраны, и ее абсолютное значение увеличивается для более тонкопористых мембран. Тем не менее, при микрофильтрации процесс забивания пор носит наиболее значительный характер, поскольку сопротивление мембраны больше, несмотря на то, что относительное падение производительности в течение стадии закупоривания пор намного меньше.

Природная вода – это сложная смесь частиц различной степени дисперсности: от молекул гуминовых кислот до глинистых частичек, поэтому в ней всегда будут присутствовать частицы, соизмеримые с порами ультрафильтрационных мембран. Поэтому полностью избежать стадии закупоривания пор путем подбора размера пор мембраны невозможно.

3.2.3. Типы мембран и мембранных аппаратов

Особенностью ультрафильтрационных мембран, предназначенных для очистки природных вод, является их способность выдерживать высокое давление, прикладываемое к фильтратной стороне при обратной промывке. Обычные композитные мембраны оказываются здесь непригодными, так как возникает риск отслоения тонкого верхнего селективного слоя от подложки. Поэтому для этих целей применяются мембраны с асимметричной структурой, в которых селективный слой и крупнопористая подложка представляют единое целое.

В качестве материала для изготовления ультрафильтрационных мембран в основном используются полимерные вещества – ацетат целлюлозы,

полисульфон, полиамид, полиимид, поливинилиденфторид, полиакрилонитрил и их производные. Полимерным мембранам могут придаваться разнообразные свойства путем изменения поверхностного заряда мембраны, ее гидрофобности или гидрофильности, прививания различных функциональных групп на ее поверхность и т. п. Такие технологические приемы позволяют управлять селективными характеристиками мембран и их устойчивостью к загрязнению различными веществами.

Особое место занимают трековые мембраны, которые характеризуются очень узким распределением пор по размеру и симметричной структурой. Трековые мембраны получают путем ионной бомбардировки непористой полимерной пленки с последующим вытравливанием поврежденных областей (треков). Недостатком таких мембран является низкая поверхностная пористость и относительно высокая стоимость.

Внешний вид ультрафильтрационных мембран из некоторых материалов показан на рис. 3.12.

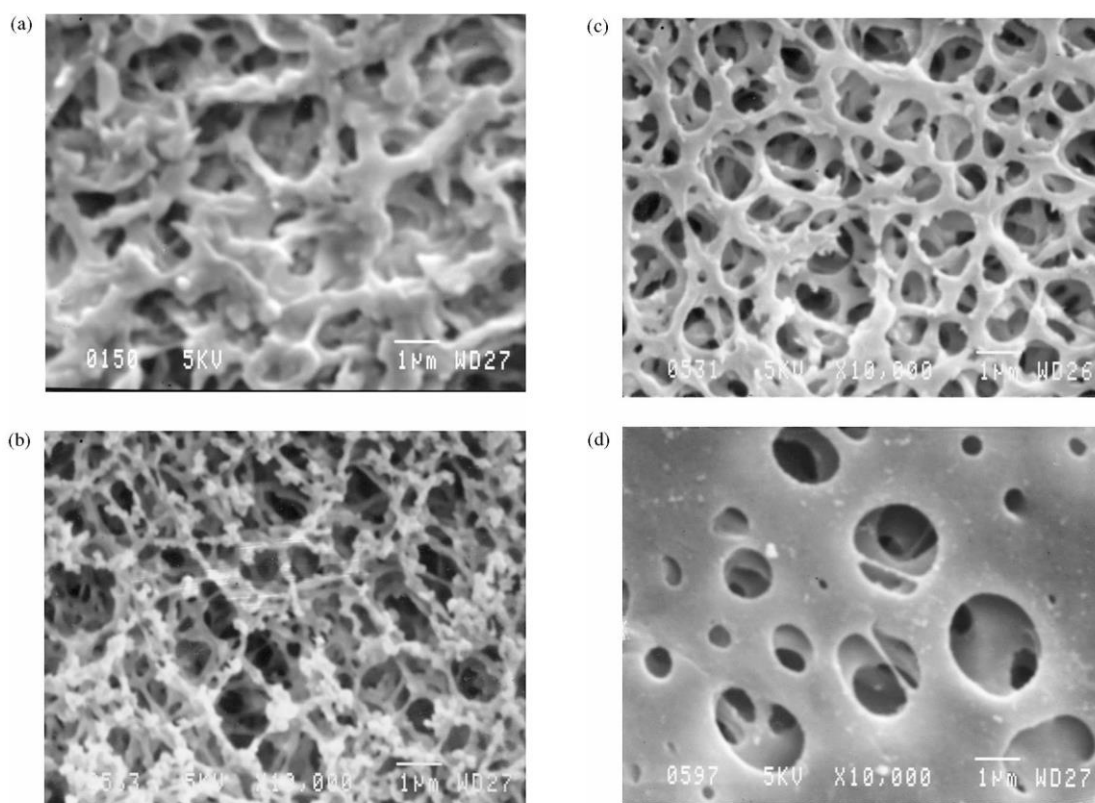


Рис. 3.12. Внешний вид мембран из различных материалов: а) поливиденфторид; б) смешанные эфиры целлюлозы; с) ацетатцеллюлоза; д) полиэтерсульфон.

Большинство современных полимерных мембран устойчивы к воздействию микроорганизмов и химических соединений в широком диапазоне рН от 2 до 11 (некоторые мембраны допускают при химической промывке изменение величины рН в пределах от 1 до 14), обладают высокой селективностью и производительностью, но не допускают воздействия сильных окислителей: свободного хлора, йода, озона. Свойства мембран лишь незначительно ухудшаются в течение всего срока службы, который составляет пять и более лет. Старение мембран может происходить из-за истончения верхнего слоя при взаимодействии с взвешенными и абразивными веществами, содержащимися в обрабатываемой воде, или очищающими химическими агентами. Предельные рабочие температуры составляют 40-45°C, иногда допускается кратковременное повышение до 50°C. Наибольшее распространение для очистки природных вод получили мембраны на основе полисульфона и ацетата целлюлозы.

Для производства ультрафильтрационных мембран также используют неорганические (керамические) материалы на основе окислов Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO_2 . Керамические мембраны характеризуются долговечностью, высокой физической, химической и бактериальной стойкостью, что позволяет им работать в самых жестких условиях. Их применение ограничено нижним пределом размеров пор – около 0,05-0,1 мкм и невысокой плотностью упаковки в мембранных модулях. Более тонкопористые керамические мембраны находятся пока в стадии разработки и лабораторных испытаний.

В настоящее время наибольшее распространение получили мембранные аппараты с полыми волокнами или капиллярами, рулонные элементы и аппараты с трубчатыми керамическими и полимерными мембранами. Каждой конструкции присущи свои достоинства и недостатки.

Устройство и внешний вид рулонных элементов показаны на рис. 3.13 и 3.14. Они изготавливаются из плоских мембран, для формирования напорного и фильтратного каналов используются различные дренажные материалы – сетки. Рулонные элементы просты в эксплуатации, обеспечивают высокую плотность «упаковки» мембран (до $1000 \text{ м}^2/\text{м}^3$), достаточно устойчивы к загрязнению и легко промываются, устойчивы к гидравлическим нагрузкам, позволяют легко проводить замену неисправных элементов. Схема работы ультрафильтрационного рулонного элемента показана на рис. 3.14.

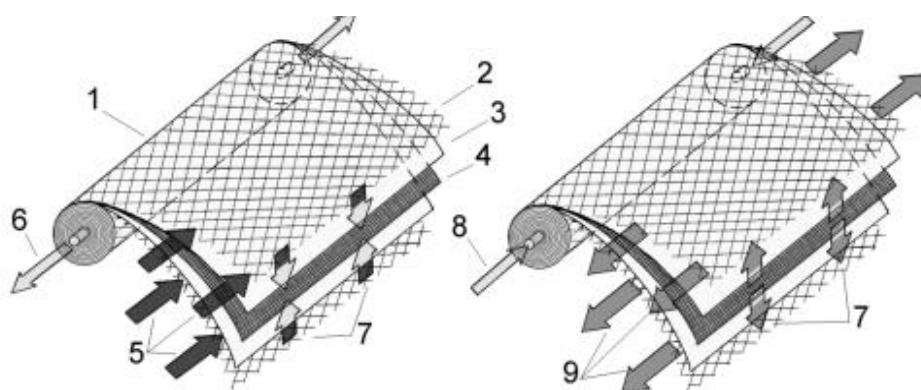


Рис. 3.13. Схема работы рулонного мембранного элемента: а – рабочий режим; б – режим промывки; в) внешний вид рулонных аппаратов; 1 – рулонный элемент; 2 – турбулизаторная сетка; 3 – мембрана; 4 – дренажное устройство; 5 – исходная вода; 6 – фильтрат; 7 – направление движения воды через мембрану; 8 – подача промывной воды; 9 – отвод промывной воды.



Рис. 3.14. Внешний вид рулонных мембранных элементов

С развитием микро- и ультрафильтрации вновь возник интерес к аппаратам с полыми волокнами. Капиллярные мембраны представляют собой тонкие полимерные трубки диаметром 0,7-2,0 мм, фильтрование может вестись изнутри-наружу или снаружи-вовнутрь. Схема работы аппарата с капиллярными мембранами (полыми волокнами) показана на рис. 3.15. Капиллярные мембраны специально разработаны для осветления природных вод и отличаются от полых волокон бóльшим диаметром трубки – 0,8-2,0 мм (у полых волокон диаметр – 0,1-0,4 мм) и, следовательно, обладают меньшей склонностью к забиванию внутренних напорных каналов мембран. Они характеризуются довольно высокой плотностью «упаковки» мембран (площадь мембран в одном модуле может достигать 50 – 60 м²), высокими удельными потоками и хорошей гидродинамикой внутри волокон при работе в режиме фильтрования «изнутри-наружу». Такие мембраны не содержат сепараторных и дренажных сеток, поэтому они обеспечивают большую устойчивость мембранных элементов к засорению взвешенными веществами и биологическому обрастанию. Одним из недостатков капиллярных мембран является их склонность к сплющиванию при высоких значениях давления снаружи волокон. Плотность упаковки таких мембран в элементах также достаточно велика (500-800 м²/м³).

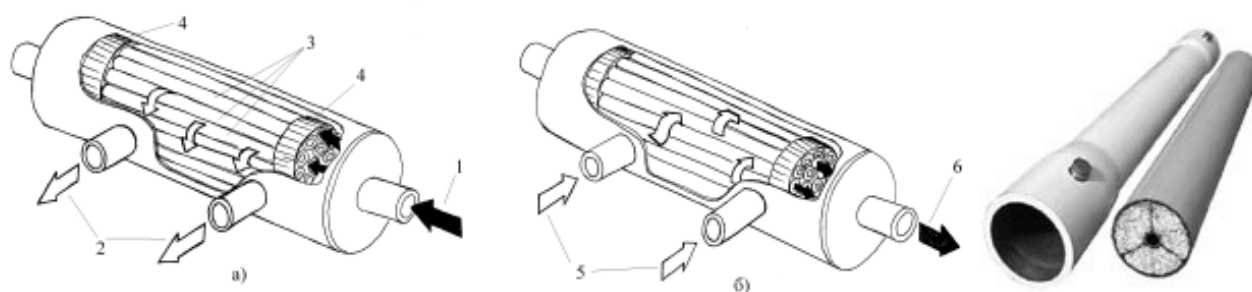


Рис. 3.15. Устройство и внешний вид полволоконного мембранного элемента: а – рабочий режим; б – режим промывки; в) внешний вид мембранного аппарата; 1 – исходная вода; 2 – фильтрат; 3 – полые волокна; 4 – эпоксидный блок; 5 – обратная промывка фильтратом, 6 – промывная вода; 7 – корпус.



Рис.3.16. Внешний вид напорных полуволоконных мембранных элементов

Особое место занимают так называемые погружённые мембраны, где процесс ведется не под действием избыточного давления, а под действием вакуума, который прикладывается к фильтратному тракту. Безкорпусные мембранные блоки с полыми волокнами (производители – «Zenon», «Koch»), плоскими мембранами («Toray Industries Inc.», «Kubota», «Huber Technology») или рулонные элементы («TriSep») погружаются в резервуар или канал исходной воды, туда же подается воздух для очистки поверхности мембран (рис. 3.17). Задержанные загрязнения удаляются с поверхности мембраны с помощью обратных промывок, осаждаются на дно резервуара и выводятся в дренаж. Преимущество таких систем состоит в возможности обрабатывать без предварительной очистки воду с высокой мутностью, низкое энергопотребление ($0,05 - 0,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$), меньшее количество распределительных трубопроводов и арматуры.

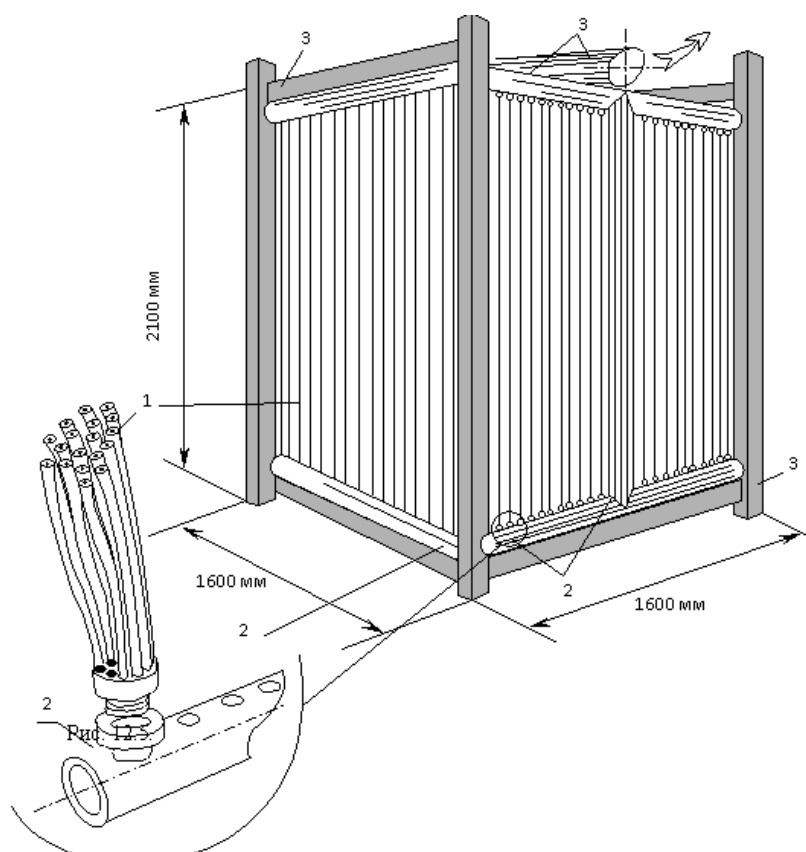


Рис. 3.17. Устройство погружного ультрафильтрационного модуля.



a)



б)



в)

Рис. 3.18. Внешний вид погружных половолоконных (а) и рулонных (б) модулей, и модулей с плоскими мембранами (в)

В зависимости от режима течения жидкости в мембранном модуле существуют три основные схемы работы ультрафильтрационных установок (см. рис. 3.19): с поперечным потоком (cross-flow), с частичным сбросом концентрата (feed-and-bleed) и с тупиковой фильтрацией (dead-end).

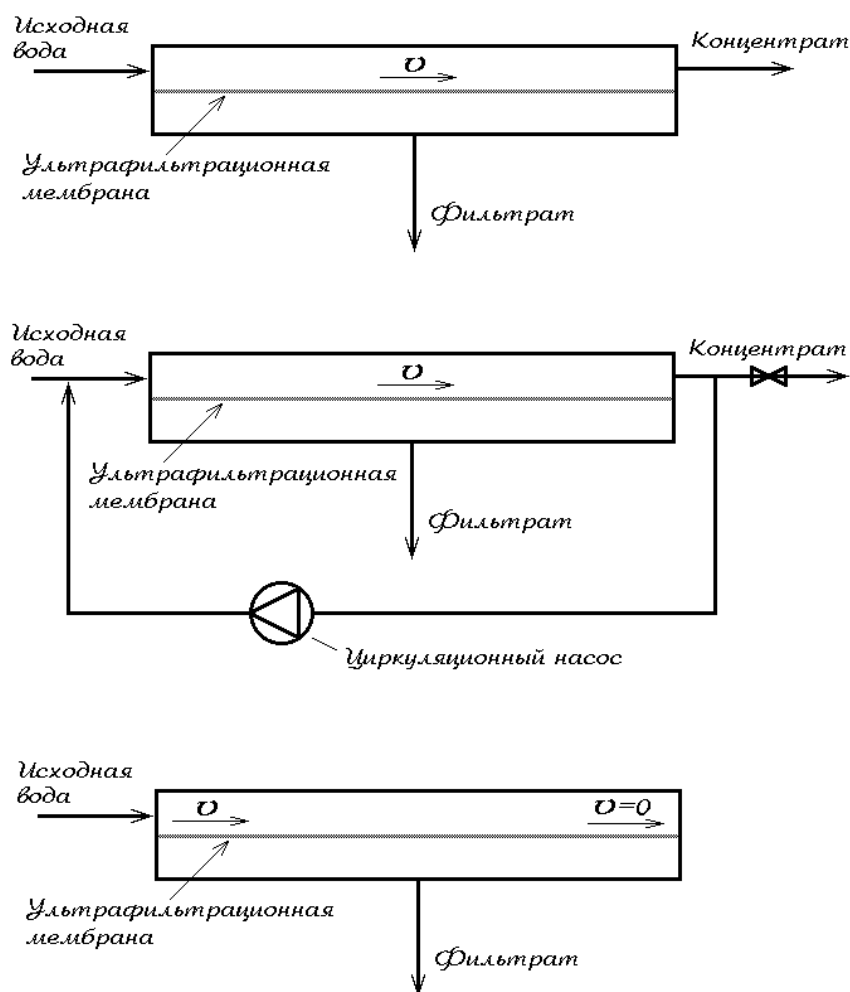


Рис. 3.19. Основные схемы работы ультрафильтрационных установок: а – режим с поперечным потоком; б – режим с частичным сбросом концентрата; в – тупиковый режим.

В первых двух случаях исходная жидкость течет параллельно поверхности мембраны, при этом часть жидкости, называемая фильтратом, проходит через мембрану, а оставшийся объем вместе с задержанными загрязнениями выводится из мембранного модуля. При таком режиме работы необходимо поддерживать высокую скорость потока жидкости над поверхностью

мембраны, чтобы задержанные загрязнения не осаждались на поверхности мембраны, а находились во взвешенном состоянии. В этом случае удастся избежать роста осадка на поверхности мембраны и тем самым обеспечить продолжительную непрерывную работу мембранного модуля. При наличии поперечного потока уменьшение производительности мембраны после образования первоначального слоя осадка может происходить лишь за счет его уплотнения, агрегации частиц и изменения фракционного состава осадка в сторону более тонкодисперсных частиц.

Для сокращения объемов сбрасываемой воды и увеличения скорости потока широкое распространение получили схемы с рециркуляцией концентрата. В этом случае сбрасываемая из мембранного модуля жидкость повторно направляется на его вход. Для предотвращения роста концентрации загрязнений в рециркуляционной линии из нее постоянно или периодически выводится часть жидкости. Основной недостаток описанных схем – повышенные затраты электроэнергии на перекачивание жидкости, относительно высокий объем сбрасываемой воды, а также необходимость сооружения рециркуляционных контуров.

Указанных недостатков лишена схема с тупиковой фильтрацией, где весь объем исходной жидкости профильтровывается через мембрану, а для удаления образовавшегося по поверхности мембраны слоя загрязнений используют периодические обратные и прямые промывки. Для повышения эффективности этой процедуры может использоваться последовательная комбинация прямой и обратной промывок. При равных затратах промывной воды такой режим восстановления производительности мембранных аппаратов оказывается более эффективным.

Для вод с высоким содержанием взвешенных веществ или при добавлении больших количеств коагулянта тупиковый режим оказывается неэффективным из-за интенсивного осадкообразования на поверхности мембраны. Однако для поверхностных вод с невысокой мутностью и подземных вод с содержанием

железа до 20-30 мг/л применение тупикового режима оказывается наиболее предпочтительным.

Сравнивая тупиковый и поперечноточный режимы, основное внимание обращают на полезную производительность системы и потребление энергии. По разным данным для систем с тупиковой фильтрацией полезная производительность варьируется соответственно от 55-80% до 90-98%, а для режима с поперечным потоком – от 75-90% до 90-96%, и в целом тупиковый режим оказывается более экономичным. Однако при тупиковой фильтрации средняя производительность мембран ниже, что увеличивает капитальные затраты на сооружение системы очистки. Для схемы с поперечным потоком сооружение циркуляционного контура требует дополнительных капитальных затрат. Важным фактором является потребление электроэнергии: для тупиковой фильтрации оно составляет около $0,18-0,22 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ – это значительно меньше, чем для фильтрации с транзитным потоком – $0,54-0,72 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.

3.2.4. Конструирование и расчет мембранных установок ультрафильтрации

Большинство схем ультрафильтрационных установок содержат следующие основные элементы: насосы исходной воды, блок мембранных аппаратов, накопительные емкости, насосы раздачи воды потребителю; циркуляционные насосы с линией рецикла, систему автоматических задвижек, контрольно-измерительные приборы и автоматики. Для защиты мембранных элементов от засорения грубодисперсными примесями перед ними размещают фильтры предочистки различных с размером пор 50 – 200 мкм. Это могут быть крупнозернистые или сетчатые фильтры. Мембранные аппараты, за исключением фильтропрессных и безкорпусных, помещаются в напорные корпуса цилиндрической формы. В зависимости от дизайна установки

мембранные элементы располагаются рядами вертикально или горизонтально. При использовании водовоздушной промывки выбирают вертикальное размещение мембранных аппаратов.

Эксплуатация систем очистки ведется в трех различных режимах: при постоянной величине трансмембранного давления, при постоянном потоке через мембрану, при переменном давлении и потоке. Промывка мембранных аппаратов ведется обратным током очищенной воды с помощью промывных насосов и задвижек с электроприводом.

Основной задачей при разработке и эксплуатации мембранных ультрафильтрационных установок является прогнозирование снижения производительности мембран с течением времени и выбор оптимальных параметров работы для достижения максимальной полезной производительности.

В процессе обработки воды, содержащей коллоидные и взвешенные вещества, происходит забивание пор ультрафильтрационных мембран и на их поверхности образуется слой осадка. В результате общее сопротивление фильтрационной системы возрастает, а производительность мембранного аппарата падает. Для восстановления начальной производительности мембраны периодически промывают обратным током фильтрата. При обратной промывке большая часть загрязнений удаляется, а оставшаяся часть загрязнений приводит к медленному падению производительности в процессе эксплуатации очистной установки. Для полного восстановления исходной производительности и удаления всех загрязнений, осевших на мембране, используют интенсивные гидравлические и химические промывки мембран. Частота таких промывок может колебаться от нескольких раз в год до 1-2 раз в месяц.

Для рационального использования ультрафильтрационной системы очистки воды необходимо выбрать такие параметры процесса фильтрования и гидравлической промывки, при которых полезная производительность системы будет максимальной, а капитальные и эксплуатационные затраты —

минимальными. Для этого расход очищенной воды на промывку должен быть низким, а интервалы между химическими промывками – большими.

Стабильной работы установок добиваются путем дозирования оксидантов при обратной промывке или добавлением активированного угля в исходную воду. Для снижения частоты химических промывок используют автоматические системы контроля, которые, в зависимости от мутности исходной воды и перепада давления на мембранных аппаратах, регулируют по заданному алгоритму режим работы установки – поток через мембраны, частоту и длительность обратных промывок.

Эффективность обратной промывки зависит от состава исходной воды, интенсивности промывки (давления и длительности обратной промывки) и интервала между промывками (продолжительность фильтроцикла). Исследования по оптимизации ставят целью определить наиболее оптимальные величины продолжительностей фильтроцикла и промывки для различного состава обрабатываемой воды. Значения вышеупомянутых параметров должны соответствовать наибольшему количеству очищенной воды, полученной в течение заданного времени, которое вычисляется как разность между объемами фильтрата и воды, затраченной на промывки. Режим промывки назначается по графику, показанному на рис. 3.20, в зависимости от мутности исходной воды. Общий вид графика изменения производительности ультрафильтрационных мембран в процессе их работа и проведения промывок показан на рис. 3.21.

Для удаления осадка, образующегося на поверхности ультрафильтрационных мембран, служит система обратной промывки, которая состоит из насосов обратной промывки, системы трубопроводов с магнитными задвижками и устройств автоматики. Процесс фильтрования длится 10 – 60 мин, после чего следует обратная промывка мембраны. Для этого часть очищенной воды в течение 10 – 60 с подается под давлением в фильтратный тракт. В процессе обратной промывки вода уносит с поверхности мембран слой накопившихся загрязнений. Для предотвращения зарастания

ультрафильтрационных мембран биопленкой и органическими примесями в воду для обратной промывки мембранных элементов постоянно или периодически добавляют дезинфектант – чаще всего гипохлорит натрия.

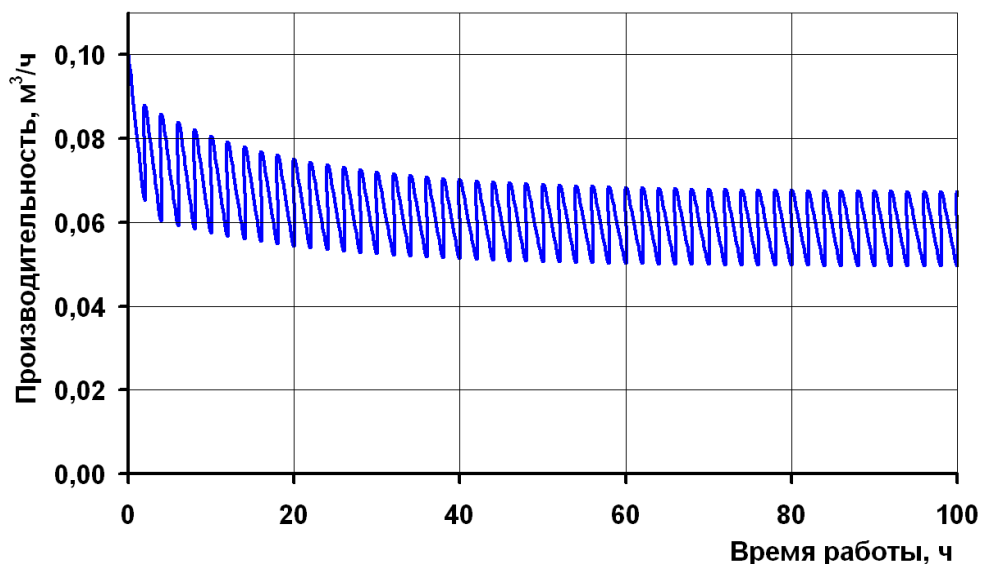


Рис. 3.20. График изменения производительности ультрафильтрационной установки от времени (начальный участок кривой).

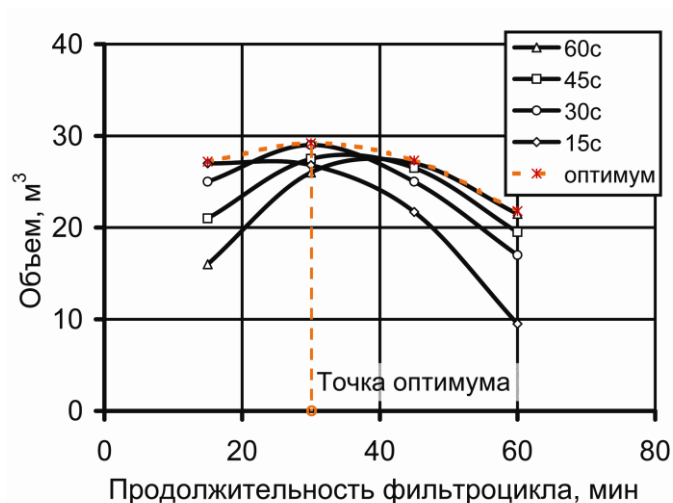


Рис. 3.21. Пример графической оптимизации продолжительности фильтроцикла

Промывные воды собираются в резервуар-отстойник, после чего направляются либо в голову сооружений очистки, либо сбрасываются в производственную канализацию (в безреагентной схеме). Осадок из отстойника для сбора промывных вод может быть обезвожен традиционными методами.

Технологические схемы применения ультрафильтрационных установок для очистки природных вод показаны на рис. 3.22.

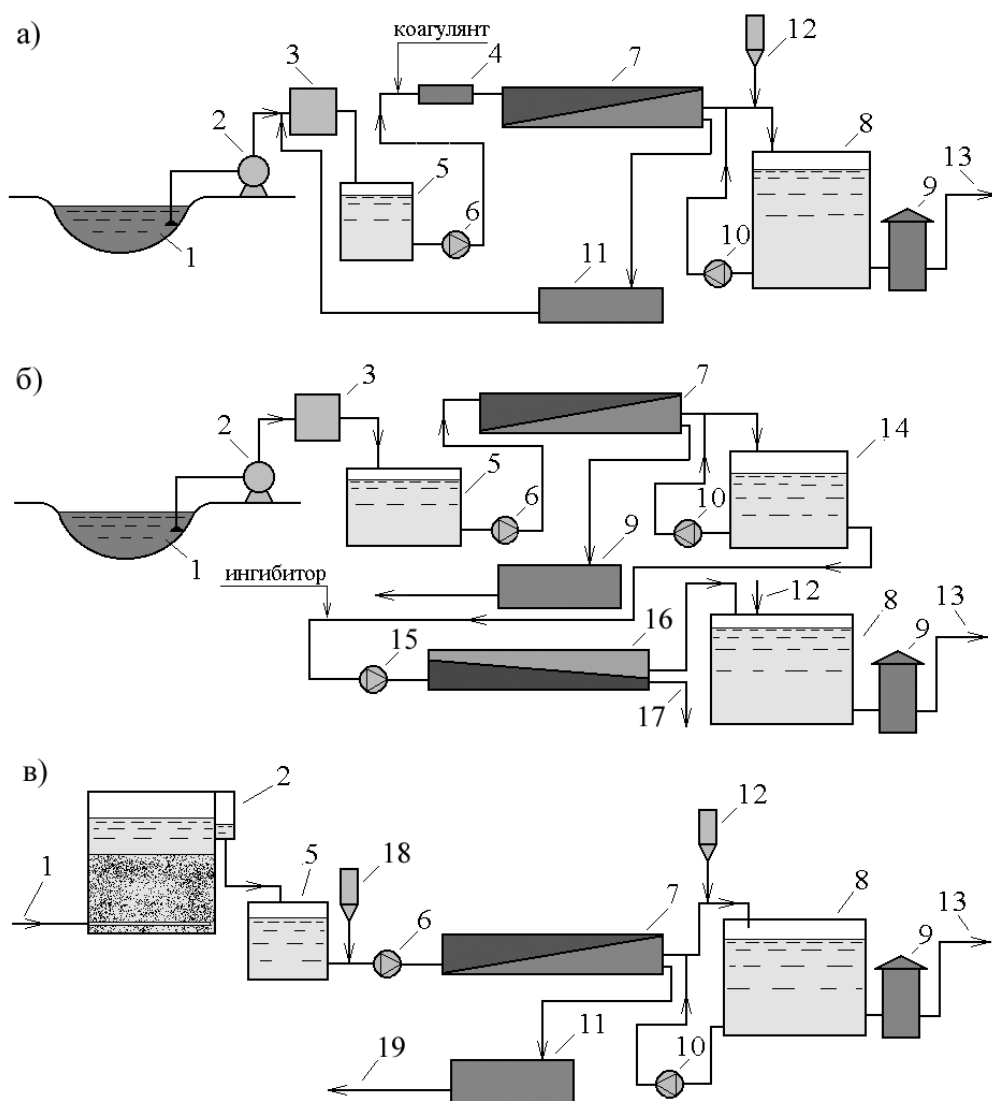


Рис. 3.22. Схемы очистки воды из поверхностных источников с применением ультрафильтрации:
а – схема ультрафильтрационной станции очистки воды из поверхностных источников с использованием коагуляции; б – схема комбинированной станции очистки воды из поверхностных источников; в – схема доочистки воды с помощью ультрафильтрации; 1 – водозаборное сооружение; 2 – насосная станция первого подъема; 3 – фильтры предочистки; 4 – смеситель; 5 – приемный резервуар; 6 – рабочий насос; 7 – ультрафильтрационная установка; 8 – резервуар чистой воды; 9 – насосная станция второго подъема; 10 – насос обратной промывки; 11 – отстойник для сбора промывных вод; 12 – дозирование дезинфектанта; 13 – в городскую сеть к потребителю; 14 – промежуточный резервуар; 15 – рабочий насос высокого давления; 16 – нанофильтрационная установка; 17 – сброс концентрата; 18 – дозирование порошкового активного угля; 19 – в голову очистных сооружений.

В процессе длительной работы производительность мембранных аппаратов постепенно уменьшается, так как на поверхности и в порах мембраны сорбируются различные вещества и отлагаются частички загрязнений, увеличивающие общее гидравлическое сопротивление мембранных аппаратов. Для восстановления первоначальной производительности несколько раз в год проводится химическая промывка мембранных аппаратов специальными детергентами, кислотными и щелочными реагентами для удаления накопленных загрязнений.

Для защиты мембран от засорения крупными частицами перед ультрафильтрационной установкой помещают фильтр предочистки – самопромывающийся сетчатый фильтр с размером ячеек 100 – 200 мкм.

Для ультрафильтрации, как и для любого мембранного процесса, особую важность представляет предотвращение загрязнения мембран различными веществами, содержащимися в обрабатываемой воде. При обработке поверхностных вод происходит адсорбция органических веществ на поверхности и в порах мембраны, что вызывает снижение ее производительности. Наибольшее влияние на уменьшение потока через мембраны оказывает закупоривание их пор коллоидными частицами и крупными агрегатами органических молекул. Неправильная эксплуатация мембранной установки приводит к быстрому загрязнению мембран и увеличению расхода воды на обратные промывки. Поэтому особенно важным при проектировании и эксплуатации ультрафильтрационных систем очистки воды оказывается правильный выбор технологии и режима работы мембранной установки (рабочих давлений, продолжительности и частоты обратных промывок, используемые реагенты).

В зависимости от условий эксплуатации, загрязненности исходной воды и ряда других факторов срок службы ультрафильтрационных аппаратов обычно составляет 5 – 6 лет, в отдельных случаях он может быть продлен до 10 – 12

лет. При дальнейшей работе наступает химическая и механическая деструкция полимерной поверхности мембран, что делает невозможным поддержание проектных характеристик мембранной установки.

Ультрафильтрация может использоваться как для непосредственной обработки воды из поверхностных источников, так и в сочетании с предварительной коагуляцией, озонированием, отстаиванием и обработкой воды активным углем. Основную трудность при очистке природных вод мембранными методами представляет снижение цветности и содержания растворенных органических веществ.

Для борьбы с растворенными органическими соединениями, образующими цветность природной воды, а также примесями антропогенного происхождения – пестицидами, гербицидами, детергентами, тригалометанами, нефтепродуктами, фенолом – используют дозирование порошкообразного адсорбента (например, активированного угля) в исходную воду перед ультрафильтрационными модулями. Данный способ, известный под торговой маркой Cristal[®], используется компанией «Дегремон» как для непосредственной обработки поверхностных и подземных вод, так и в качестве доочистки воды после традиционных сооружений. Особенность такого применения адсорбентов заключается в повышении их сорбционной емкости, во-первых, за счет возможности использования более тонкодисперсных форм, а во-вторых, за счет интенсивного перемешивания и улучшения массообмена в мембранных аппаратах.



Рис. 3.23. Ультрафильтрационная установки очистки природных вод.

3.3. Дезодорация воды

3.3.1. 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 оксидации 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 оксидации. 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.

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. 2.3.

Таблица 3.3

Область применения методов дезодорации воды

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.	90-99%	Снижение окисляемости

	Углеродные волокнистые материалы. Неуглеродные сорбенты.		
Окислительно- сорбционные методы	Озонсорбция	До 100%	Удаление органических веществ (летучих органических соединений хлорсодержащих).
Мембранные методы	Ультрафильтрация. Нанопильтрация. 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

3.3.2. 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.

3.24), 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.

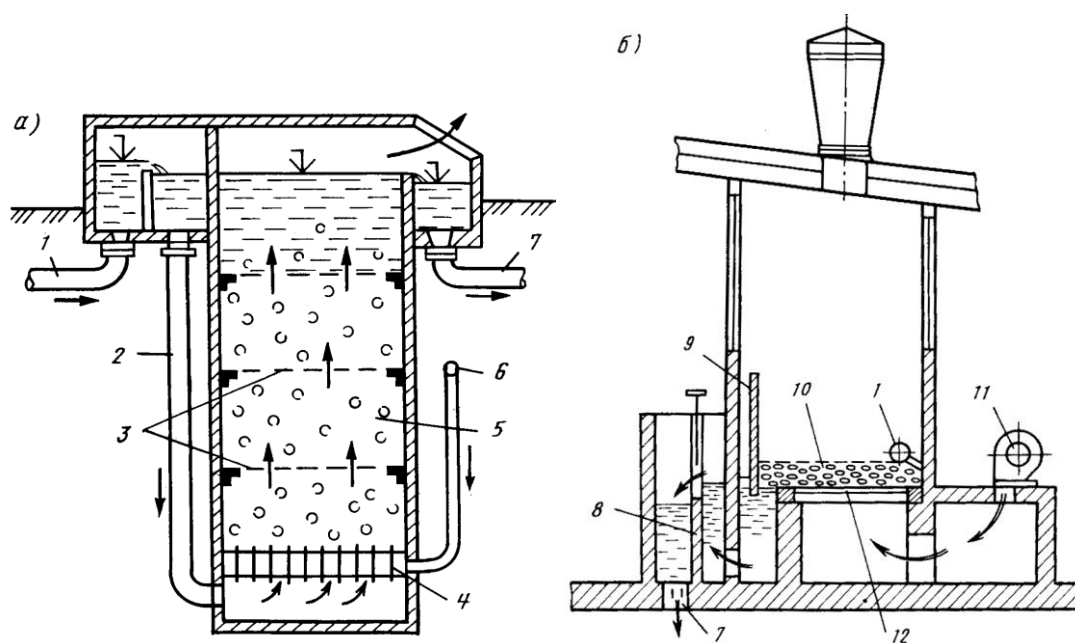


Рис. 3.24. Аэратор барботажного типа (а) и инка-аэратор (б):

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. 3.24, 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 инка-аэратор, выпускается через водослив.

3.3.3. 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.

3.3.4. 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 жидкостью 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 3.4

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	0,82...1,6				800	—	2...5	460	72
АГ-ОВ	0,97...1,9				845	—	2...5	455	73
АГС-4У	2,2				985	—	3...10	461	71
ДАУ-В	1,42				763		2...6	445	80

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. 3.4 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.

3.3.5. 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

$$h_y = vT, \quad (3.2)$$

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 слой угольной загрузки. Это особенно относится к фильтровальным сооружениям, в которых совмещены функции осветления и очистки от химических загрязнений.

РАЗДЕЛ 4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

4.1. Фторирование и обесфторирование воды

4.1.1. 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.

Кремнефтористый натрий — молекулярная масса 188,05, плотность 2,7 г/см³ — представляет собой мелкий, сыпучий, негигроскопический кристаллический порошок белого цвета (допускается серый или желтый оттенок), без запаха, удобен в эксплуатации. При длительном хранении на складе в закрытых бочках не слеживается. Плотность насыщенного раствора 1,0054, рН насыщенного раствора 3,5...4,0. В воде растворяется плохо.

Кремнефтористый натрий упаковывается заводами-поставщиками в фанерные барабаны объемом до 50 л или в деревянные бочки вместимостью 40...50 л, выложенные внутри крафт-бумагой.

Фтористый натрий, молекулярная масса 42 плотность 2,8 г/см³ представляет собой порошок белого или светло-серого цвета без запаха. Растворимость фтористого натрия с изменением температуры воды меняется незначительно. При обычно принятых температурах на водоочистных комплексах растворимость его составляет около 4%, рН раствора фтористого натрия — 7,0. Реагент упаковывают в стальные сшивные барабаны, плотные сухотарные деревянные бочки или фанерные барабаны. Масса стального барабана 50...150 кг, деревянной бочки— 130...150 кг, фанерного барабана — не более 50 кг. Деревянные бочки и фанерные барабаны внутри выкладываются двумя слоями оберточной бумаги, на бочках и барабанах делают надпись: «Опасно. Яд».

Кремнефтористоводородная кислота — молекулярная масса 144,08 выпускается в виде 8...14%-ного раствора, являясь промежуточным продуктом в производстве фторсодержащих солей. В безводной форме она неизвестна. Это бесцветная, прозрачная коррозионная жидкость с едким запахом, оказывающая раздражающее действие на кожу. Однопроцентный ее раствор имеет рН 1,2. Опыт показал, что применение кремнефтористоводородной кислоты для фторирования воды на установках малой производительности нецелесообразно, так как требуется разбавление кислоты водой, а при этом выпадает осадок, забивающий насосы, арматуру и трубы. Чтобы этого избежать, добавляют к кремнефтористоводородной кислоте небольшое количество фтористоводородной кислоты, что осложняет технологию использования этого метода.

Кремнефтористый аммоний, молекулярная масса 178,16, плотность 2,01 г/см³. Кристаллическое вещество белого цвета с розоватым или желтоватым оттенком без запаха. Недостатком этого реагента является его слеживаемость. Даже при кратковременном хранении он превращается в довольно плотные комья. Это свойство продукта вызывает необходимость дополнительных мероприятий при использовании его в качестве реагента: он нуждается в сушке

и дроблении, что, конечно, создает дополнительные трудности в эксплуатации и увеличивает эксплуатационные расходы. Стоимость его ниже стоимости фтористого натрия. Кремнефтористый аммоний упаковывается в фанерные барабаны вместимостью до 50 л или деревянные бочки объемом 40...50 л, выложенные внутри крафт-бумагой, бумажные мешки массой до 50 кг. На каждом барабане или бочке должна быть надпись «Яд!». Барабаны, бочки и мешки с кремнефтористым аммонием должны храниться в сухом месте.

Фтористый кальций — самый дешевый реагент, но его растворимость в воде крайне низка (0,0016 г на 100 мл воды при 25° С). Однако фтористый кальций хорошо растворим в кислых растворах, в том числе в растворах коагулянта, 10%-ный раствор коагулянта может содержать 1% фтор-иона.

Дозу фторсодержащего реагента, г/м³, рассчитывают по формуле:

$$D_{\phi} = 10^4 \cdot \frac{m_{\phi} \cdot a_{\phi} - \Phi}{K_{\phi} \cdot C_{\phi}}, \quad (4.1)$$

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.

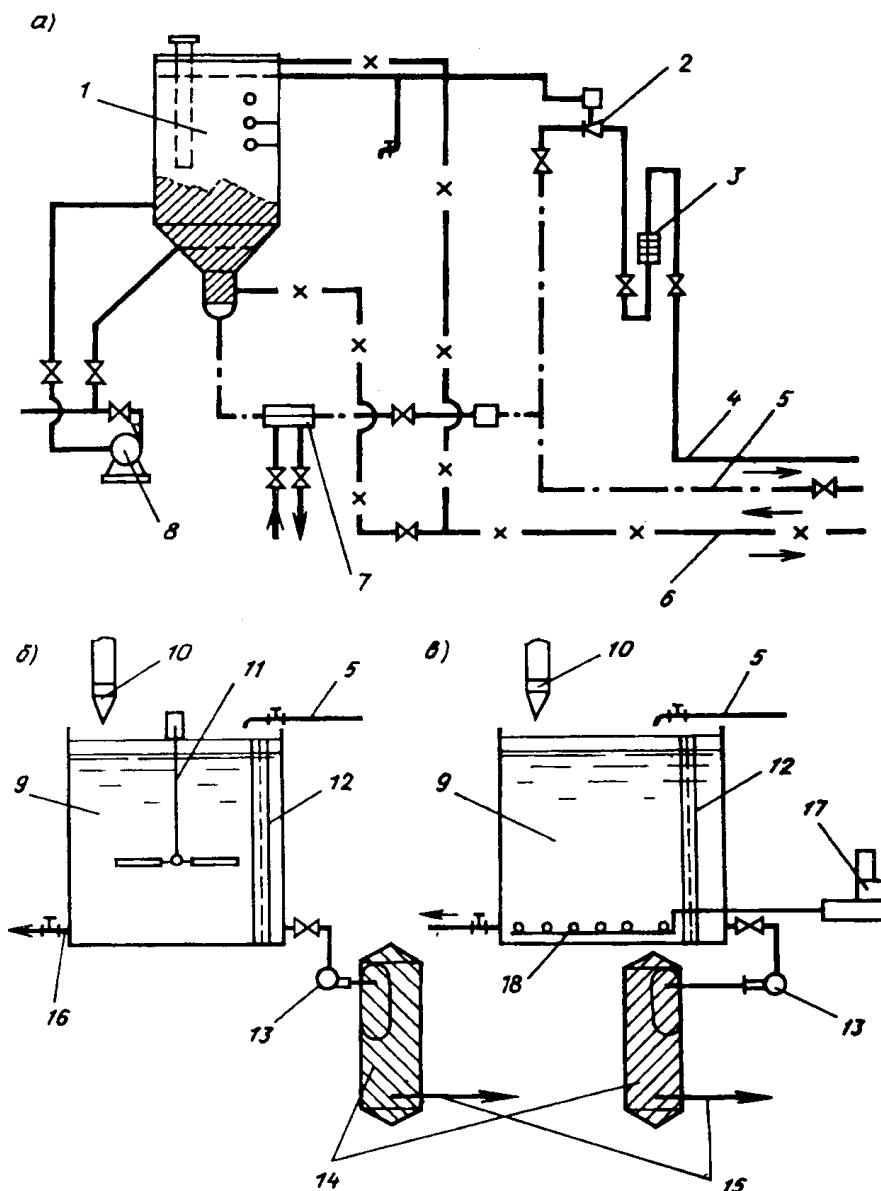


Рис. 4.1. Схема фтораторной установки сатураторного типа (а), с растворными баками с механическим побуждением (б) и с барботированием (в):

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 – поплавковое устройство; 13 – насос дозатор; 14 – напорный фильтр для осветления раствора реагента; 15 – отвод фторсодержащего раствора; 16 – сброс осадка; 17 – воздушодувка; 18 – воздухораспределительная система.

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.

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 $50-60 \text{ мин}^{-1}$, 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 $75-80^\circ\text{C}$.

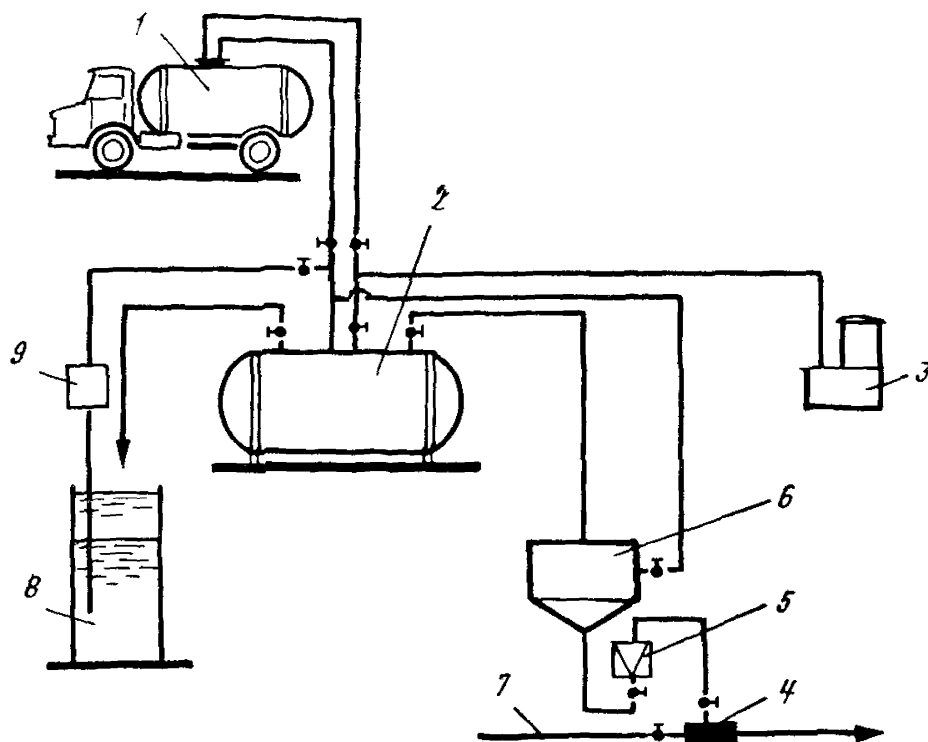


Рис. 4.2. Фтораторная установка с использованием кремнефтористоводородной кислоты:

1, 2 - авто- и стационарная цистерна; 3 - воздуходувка; 4 - эжектор; 5 - ротаметр; 6 - бак-мерник;
8 - емкость; 9 - ручной насос; 7 - водопровод

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 (рис. 4.2).

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.

Дозаторы сухих реагентов применяют двух видов: объемные и массовые. Объемные дозаторы (рис. 4.3) подают определенный объем вещества за расчетный промежуток времени, массовые — массовое количество вещества. Основное отличие их состоит в следующем: объемные дозаторы, которые конструктивно проще и дешевле, имеют точность дозирования 3...5 %, массовые — 1%; массовые дозаторы легче оборудовать записывающим устройством для регистрации дозируемого реагента и устройством для автоматической подачи реагента в воду.

Важной и неотъемлемой частью сухих дозаторов является растворная камера. При непосредственном вводе сухих реагентов в воду они падают на дно нерастворенными. Максимальную концентрацию реагента в растворной камере принимают равной $1/4$ концентрации насыщенного раствора при обычной температуре воды. Вместимость растворных камер принимают не менее 20 л. Для более полного смешения реагента с водой и его лучшего растворения предусматривают электрические мешалки или форсунки. Для точного регулирования количества воды, поступающей в растворную камеру, применяют различные водомеры. Из камеры раствор вводят в обрабатываемую воду. Так как фторирование воды требует высокой точности дозирования реагента ($\pm 5\%$), для его подачи в жидком виде применяют насосы-дозаторы мембранного и поршневого типа.

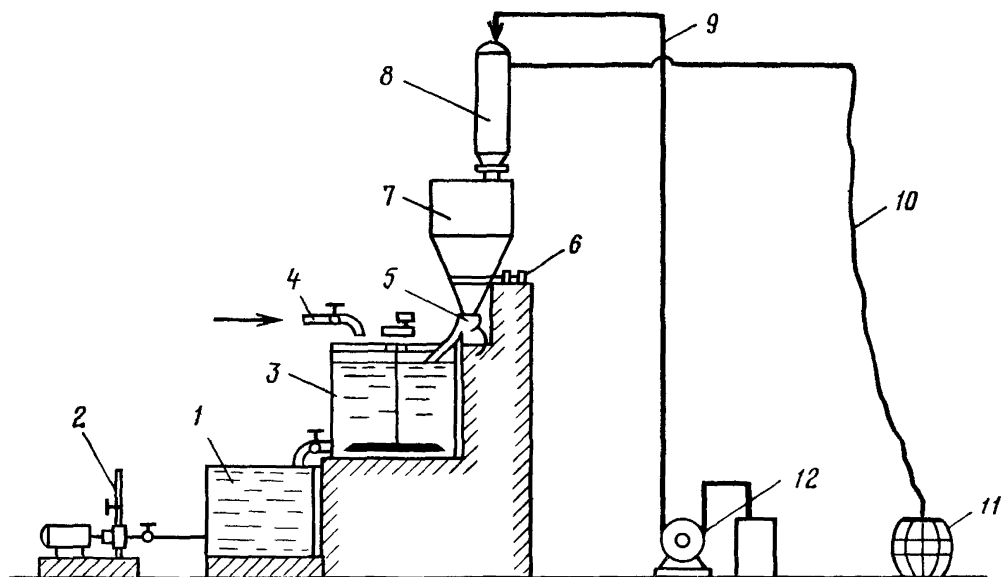


Рис. 4.3. Фтораторная установка сухого дозирования:

1 - расходный бак; 2 - насос-дозатор; 3 - растворный бак; 4 - водопровод; 5 - питатель ДУ-1; 6 - ворошитель; 7 - бункер для хранения реагента; 8 - вакуум-бункер; 9 - вакуум-линия; 10 - трубопровод всасывания сухого реагента; 11 - бочка с реагентом; 12 - вакуум-насос

Как при мокром дозировании, так и при сухом реагенты для фторирования воды подают в виде раствора. Место введения раствора реагента выбирают в зависимости от способа очистки воды и технико-экономических соображений, при этом должны быть соблюдены условия перемешивания реагента с питьевой водой и его наименьшие потери. При использовании артезианских вод, подаваемых потребителю без очистки, фтористые соединения поступают непосредственно в напорные водоводы. При небольшой нагрузке на фильтры фторсодержащие реагенты вводят перед фильтрами, при большой нагрузке — после фильтров, в трубопровод между фильтрами и резервуаром чистой воды или непосредственно в резервуар чистой воды. В некоторых случаях идут на потери фторидов, если это экономически выгодно.

На большинстве водоочистных комплексов фторирование является последней стадией обработки, не считая хлорирования. Хлорирование воды не удаляет фторидов. Хлор и фтор можно добавлять одновременно. Хлор и его производные оказывают одно неблагоприятное действие — они обесцвечивают

реагенты, добавляемые при определении фторидов в воде, что может дать ошибку в определении концентрации фтора.

4.1.2. 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.); магниезиальные 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 свежееобразованным гидроксидом магния при $\text{pH} = 9$ 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.

Для снижения содержания фтора в воде на 1 мг требуется 50...60 мг магния или 100...150 мг $\text{Mg}(\text{OH})_2$. При недостатке магния в исходной воде для повышения эффекта обесфторивания в нее вводят сульфат или хлорид магния. При избытке магния образующийся в результате взаимодействия гидроксида магния с фтором фторид магния переходит затем в малорастворимый оксифторид магния.

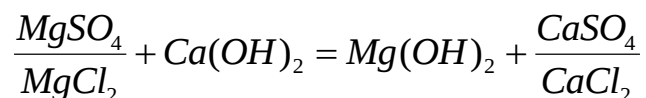
Исследования, выполненные в МГСУ, показали, что процесс сорбции фтора свежееобразованным гидроксидом магния при $pH > 9,5$ протекает быстро и интенсивно, практически не зависит от температуры и заканчивается за 8...12 мин, сорбционная способность гидроксида магния может быть использована более полно путем пропуска обрабатываемой воды через его взвешенный слой. Отличительной особенностью осадка гидроксида магния является чрезвычайная легкость. Поэтому скорость восходящего движения воды в осветлителях должна быть 0,2...0,3 мм/с. При этом концентрация взвешенных веществ в слое взвешенного осадка составит 1,6...2 г/л. Высота слоя осадка принимается 2...2,5 м. Время пребывания воды в слое контактного осадка не менее 1 ч. В этом случае расход магния на удаление 1 мг фтора значительно меньше — около 30 мг.

Для ориентировочных расчетов расход солей магния на обесфторивание воды осаждением гидроксида магния с использованием его сорбционной способности во взвешенном слое следует принимать равным 2 мг-экв на 1 мг удаляемого из воды фтора при его содержании в воде до 7 мг/л. В связи с тем, что процесс является сорбционным, с увеличением начальной концентрации фтора в воде удельный расход магния на обесфторивания будет уменьшаться. При недостатке в природных водах солей магния необходимое их количество для обесфторивания может быть подсчитано по формуле, предложенной В. А. Клячко:

$$D_{mg} = \mathcal{E} \cdot (2 \cdot (\Phi_{исх} - 1) - Ж_{Mg}), \text{ мг/л}, \quad (4.2)$$

где $\mathcal{E}$ — эквивалентная масса вводимой в воду соли магния, мг; для $MgSO_4$ — 60,2, для $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 123,25, для $MgCl_2$ — 47,7, для $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ — 101,65; $\Phi_{исх}$ — содержание фтора в исходной воде, мг/л; $Ж_{Mg}$ — магниезальная жесткость этой воды, мг-экв/л; 2 — расход солей магния, мг-экв/л, на удаление 1 мг фтора из 1 л обрабатываемой воды.

При этом необходимое количество извести D_{CaO} для осаждения гидроксида магния определяется химической реакцией:



и может быть подсчитано по формулам

при $[Ca^{2+}] > Щ$

$$D_{CaO} = 28 \cdot \left[2(Mg) + \frac{(CO_2)}{22} + Щ + 1 \right], \text{ мг/л,} \quad (4.3)$$

при $[Ca^{2+}] < Щ$

$$D_{CaO} = 28 \cdot \left[2(Mg) + \frac{(CO_2)}{22} + (Ca) + 1 \right], \text{ мг/л,} \quad (4.4)$$

где D_{CaO} — доза извести, мг/л, считая на CaO; (CO_2) — содержание CO_2 в воде, мг/л; (Mg) — содержание Mg, мг/экв-л, в обрабатываемой воде после введения в нее количества магния, необходимого для сорбции фтора; (Ca) — содержание в исходной воде кальция, мг-экв/л; $Щ$ — щелочность исходной воды, мг-экв/л.

Технологическая схема установки для обесфторивания природных вод сорбцией на гидроксиде магния состоит из вертикального смесителя, осветлителей со слоем взвешенного осадка с коническими или пирамидальными днищами и скорых осветлительных фильтров (см. рис. 4.4).

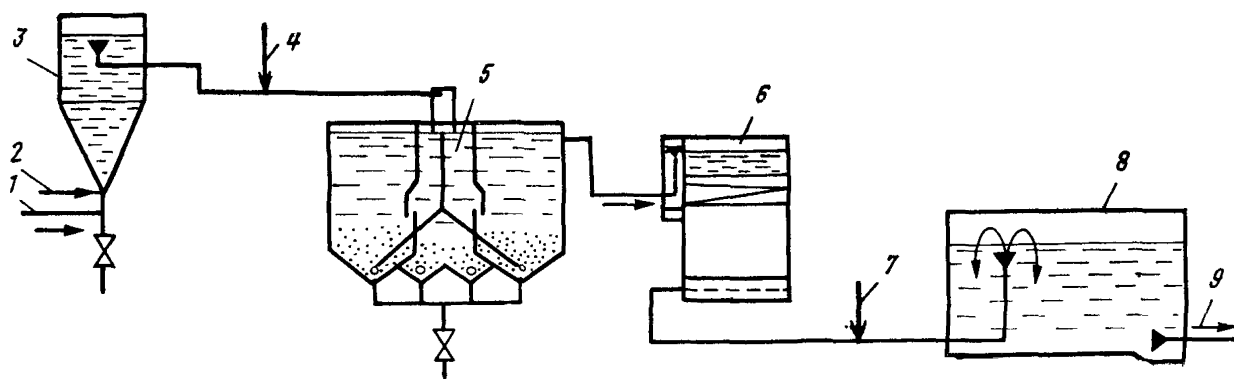
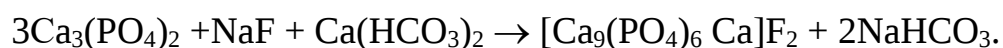


Рис. 4.4. Технологическая схема дефторирования воды свежесформованным гидроксидом магния (а) и солями алюминия (б): 1 и 9 - подача исходной и отвод обесфторенной воды, 2 - ввод щелочного реагента, 3 -- смеситель, 4 - ввод солей магния, 5 - осветлитель со взвешенным осадком; 6 - фильтр; 7 - ввод хлора; 8 - резервуар чистой воды, 10 - подача кислоты; 11 - подача алюмосодержащего коагулянта; 12 - подача щелочного реагента

Обесфторивание воды солями алюминия целесообразно проводить при низких значениях $pH = 4,3-5$. В этом случае в осадке преимущественно находится основной сульфат алюминия – $Al(OH)SO_4$ и уменьшается содержание $Al(OH)_3$, который сорбирует фтор в меньшей степени, чем $Al(OH)SO_4$. При таких pH требуются меньшие дозы сульфата алюминия: 25-30 мг на 1 мг удаляемого фтора.

Удаление фтора из воды с помощью трикальцийфосфата основано на сорбции свежесформованным трикальцийфосфатом, который связывает имеющийся в воде фтор в малорастворимое соединение – $[Ca_9(PO_4)_6Ca]F_2$, выпадающее в осадок. Расход трикальцийфосфата на удаление 1 мг фтора составляет 23-30 мг. Связывание фтора описывается следующей реакцией:



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.

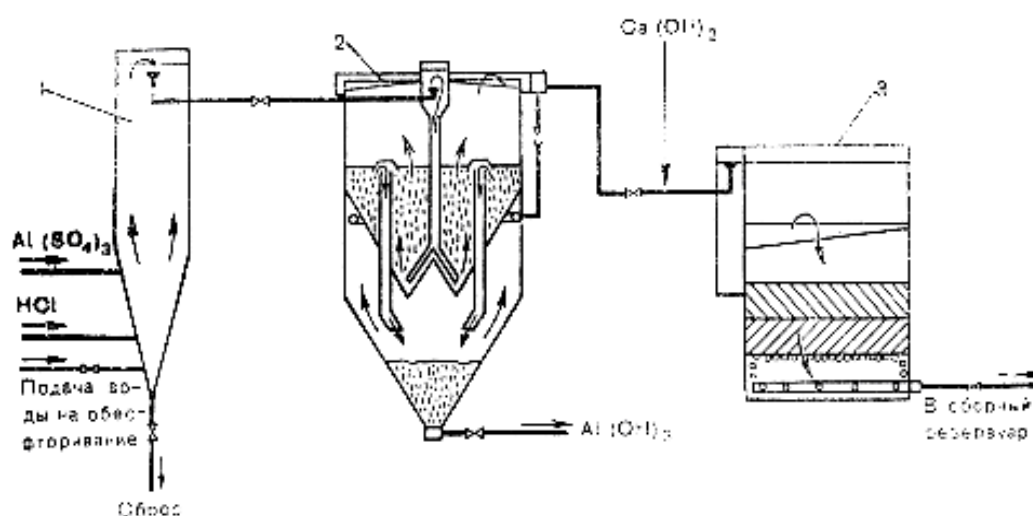


Рис. 4.5. Технологическая схема обесфторивания воды сорбцией осадком гидрооксида алюминия:
1 – смеситель; 2 – осветлитель со слоем взвешенного осадка и поддонным осадкоуплотнителем; 3 –
скорый осветлительный фильтр

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 (рис. 4.6) 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.

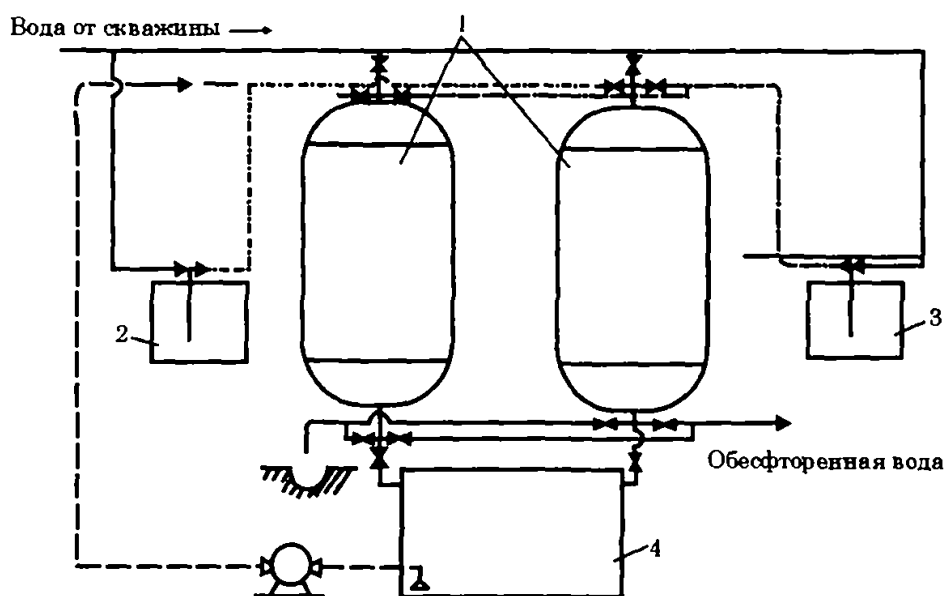


Рис. 4.6. Схема установки для сорбционного обесфторивания воды:

1 - сорбционные фильтры; 2 - бак для раствора $Al_2(SO_4)_3$ или $NaOH$; 3 - бак для раствора H_2SO_4 (требуется только при регенерации едким натром); 4 - бак для сбора отработанного раствора $Al_2(SO_4)_3$ или $NaOH$

Проектирование обесфторивающей установки следует производить с учетом данных, представленных в таблице 4.1.

Суммарную площадь фильтров, m^2 , определяют по заданному расходу воды и рекомендуемой скорости фильтрования. Количество рабочих фильтров принимают равным не менее 4. Продолжительность работы фильтра, ч, между регенерациями рассчитывают по формуле:

$$T = \frac{f \cdot H \cdot E_{\text{раб}}}{q_{\phi} \cdot (C_{\text{исх}} - \frac{C_{\phi}}{3})}, \quad (4.2)$$

где f – площадь фильтра, м²; H – высота слоя сорбента, м; $E_{\text{раб}}$ – рабочая емкость поглощения, г/м³; q_{ϕ} – производительность фильтра, м³/ч; $C_{\text{исх}}$, C_{ϕ} – содержание фтора в исходной и очищенной воде соответственно, г/м³.

Таблица 4.1

Параметры расчета сорбционного фильтра

Показатель	Значение
Исходная вода:	
содержание фтора, мг/л	до 5
содержание взвешенных веществ, мг/л	не более 8
общее солесодержание, мг/л	не более 1000
Скорость фильтрования при нормальном режиме, м/с	не более 6
Сорбент:	
емкость поглощения, г/м ³	1500-2000
объемный вес, т/м ³	0,5-0,8
крупность зерен, мм	1-3
высота слоя, м	2,0
Дренажный слой из кварцевого песка:	
крупность зерен, мм	2-4
высота слоя, мм	150
Взрыхление сорбента:	
интенсивность, л/см ²	4-5
продолжительность, мин	5-20
Регенерация сорбента:	
концентрация раствора, %, в баках	

растворных	8-10
расходных	1-1,5
скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	2-2,5
продолжительность регенерации, ч	6-8
расход $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, г на 1 г удаляемого фтора	40-50
Отмывка сорбента:	
интенсивность, л/с-м ²	4-5
расход воды, м ³ на 1 м ³ сорбента	10
продолжительность отмывки, ч	по расчету

Примечания: 1. Первые порции фильтрата смешивают с исходной водой для получения концентрации фтора в воде, равной 1-1,2 мг/л.

2. Последние порции регенерационного раствора (~ 25% общего объема) рекомендуется использовать вторично.

3. Отмывку сорбента производят исходной водой, часть отмывочных вод сбрасывают в водосток, часть – отводят для повторного использования.

Расход воды, м³, на взрыхление одного фильтра составляет:

$$q_{\text{взр}} = 0,06 \cdot \omega_{\text{взр}} \cdot f \cdot t_{\text{взр}}, \quad (4.3)$$

где $\omega_{\text{взр}}$ – интенсивность взрыхления, л/(с-м²); $t_{\text{взр}}$ – продолжительность взрыхления, мин.

Полезный объем растворного или расходного бака, м³, определяют следующим образом:

$$W_{\text{б}} = \frac{E_{\text{раб}} \cdot f \cdot H \cdot D_p \cdot n}{1000b\gamma}, \quad (4.4)$$

где D_p – расход алюминия в пересчете на $Al_2(SO_4)_3$, г на г удаляемого из воды фтора; n – число регенераций ($n = 1$ при количестве фильтров $N < 8$ и $n = 2$ при $N > 8$); b – концентрация раствора сернокислого алюминия в растворном или расходном баке; γ – объемный вес 8-10%-го раствора сернокислого алюминия, равный 1,09 т/м³ и 1-1,5%-го раствора – 1,01 т/м³.

Интенсивность подачи воздуха для перемешивания раствора в баках следует принимать 8-10 л/(с·м²), скорость движения воздуха в распределительных трубах – 10-15 м/с. Продолжительность отмывки, с, одного фильтра с сорбционной загрузкой после регенерации находят из соотношения:

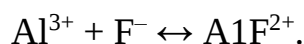
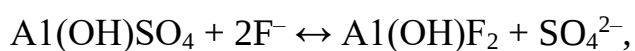
$$t_{отм} = \frac{q_{отм} \cdot 1000}{\omega_{отм} \cdot f}, \quad (4.5)$$

где $q_{отм}$ – расход воды для отмывки фильтра, м³; $\omega_{отм}$ – интенсивность отмывки, л/с·м²; f – площадь фильтра, м².

Обесфторивание воды на алюмомодифицированных материалах показывает, что после обработки солями алюминия песка, керамзита, дробленого клиноптилолита и других фильтрующих загрузок они способны эффективно извлекать из фильтруемой воды фтор — ионы. Максимальной сорбционной емкостью по фтору из рассматриваемых материалов обладает алюмомодифицированный клиноптилолит, который в естественной форме фтор из воды практически не извлекает. Механизм сорбции фтора алюмомодифицированным клиноптилолитом может быть представлен следующим образом. При контакте алюмосодержащего реагента с клиноптилолитом (Кл), который является природным катионообменником, в последнем замещаются обменные катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} на катионы алюминия из раствора-модификатора:



При последующем фильтровании очищаемой воды через алюмомодифицированный материал начинается реобмен катионов алюминия из клиноптилолита. Алюминий взаимодействует с анионами воды (SO_4^{2-} , OH^- , F^-). Одновременно с гидролизом и образованием основных солей алюминия протекает процесс дефторирования воды. Извлечение фтора осуществляется за счет ионообмена и образования алюмофторидных комплексов, которые адсорбируются клиноптилолитом:



Сорбционная емкость алюмомодифицированных клиноптилолитов составляет 0,5... 1 мг фтора на 1 г сорбента.

Технологическая схема обесфторивания воды путем ее фильтрования через алюмомодифицированную загрузку клиноптилолита состоит из скорых фильтров, загруженных модифицированным клиноптилолитом. Регенерацию истощенной загрузки осуществляют в два приема. Первоначально производят взрыхление и отмывку сорбента от фторсодержащих осадков, задержанных на поверхности и в порах загрузки. Затем клиноптилолит модифицируют, пропуская через загрузки концентрированный 4...6%-ный раствор солей алюминия (например, сернокислого алюминия). Раствор-модификатор циркулирует по замкнутому циклу бак-фильтр-бак. После модификации на фильтры подают исходную воду. Первые порции фильтрата с большим содержанием алюминия и низким значением pH отводят в специальный резервуар для повторного использования.

Для подземных вод, не требующих осветления и обесцвечивания, возможно обесфторивание с применением сильноосновных анионитов. По

экономическим соображениям это целесообразно при необходимости одновременного опреснения воды. Очевидно, что в современных условиях ионообменный метод обесфторирования воды с применением сильноосновных ионитов не может иметь самостоятельного значения по экономическим соображениям. Он может быть рекомендован только для случая обработки воды в целях одновременного обессоливания и удаления фтора. Первоначально обрабатываемая вода поступает на напорные фильтры, загруженные активированным углем, назначение которых извлекать органические вещества из обрабатываемой воды для сохранения обменной способности анионита. Затем вода передается на водород — катионитовые фильтры, загруженные сильноосновным катионитом КУ-2, которые служат для извлечения из воды катионов. Образующийся в процессе водород-катионирования диоксид углерода в результате распада бикарбонатов удаляется в дегазаторе. После удаления углекислоты вода собирается в промежуточном резервуаре, откуда насосами подается на группу анионитовых фильтров, загруженных сильноосновным анионитом. Здесь помимо удаления из воды анионов сильных кислот происходит задержание фтора. Технологическая схема заканчивается буферным натрий-катионитовым фильтром, который сглаживает возможные проскоки на предыдущих ступенях обработки и поддерживает постоянное значение величины pH в фильтрате. Регенерация фильтров с загрузкой из активного угля и анионита производится едким натром. Водород-катионитовые фильтры регенерируются раствором соляной кислоты. Как видно, технологическая схема отличается громоздкостью, сложностью реагентного хозяйства, что объясняет ограниченность ее применения.

В настоящее время наибольшую популярность приобретает обратноосмотическое обесфторивание природных (преимущественно подземных) вод. Извлечение фтор-ионов из воды с помощью высокоселективных обратноосмотических мембран может достигать 95% и более. Однако вместе с фтором из воды извлекаются все растворенные соли.

Поэтому для практического применения используют схему со смешением потоков обесфторенной и обессоленной воды и исходной, так, чтобы в смеси получалась нужная концентрация фтора. Также при небольшом превышении содержания фтора в исходной воде (в 2-3 раза выше ПДК) можно использовать нанофильтрационные мембраны, пропуская через них весь поток обрабатываемой воды.

4.2. Удаление железа и марганца

4.2.1. 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).

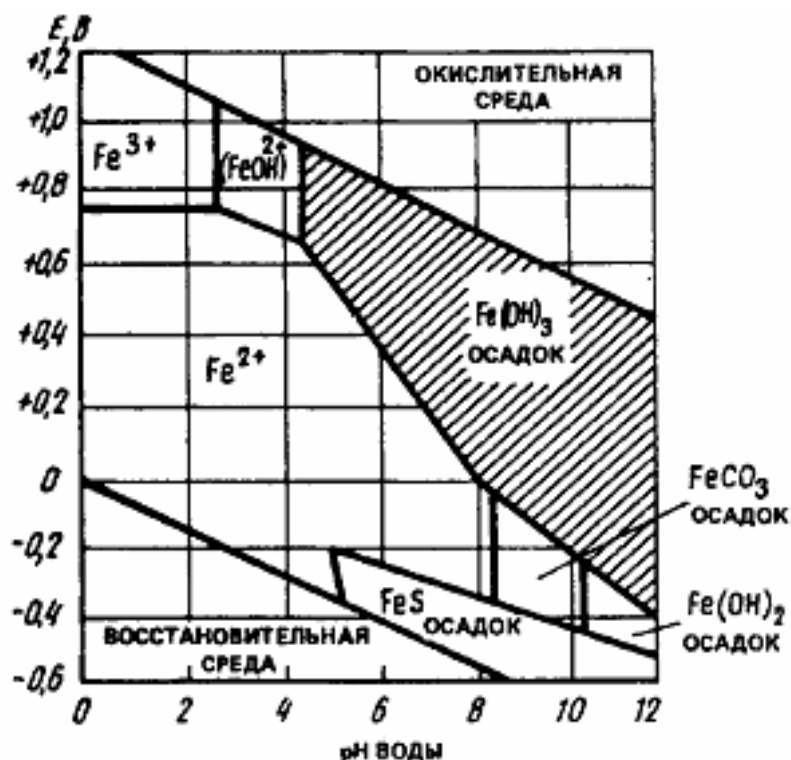


Рис. 4.7. Диаграмма Пурбе для железа

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: рН – 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 грязеемкости. При содержании углекислого или карбонатного железа (II) более 20 мг/л или при наличии сероводорода 1-5 мг/л, рН 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 рН, высокой окисляемости, нестабильности воды. При этом при содержании сернокислого или карбонатного железа, либо комплексных железорганических соединений до 10 мг/л и перманганатной окисляемости до 15 мгО₂/л рекомендуется применять фильтрование через модифицированную загрузку; до 15 мг/л и перманганатной окисляемости до 15 мг О₂/л предпочтителен метод, предусматривающий упрощенную аэрацию, обработку сильным окислителем и фильтрование через зернистую загрузку большой грязеемкости; свыше 10 мг/л и перманганатной окисляемости более 15 мгО₂/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 мгО₂/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.

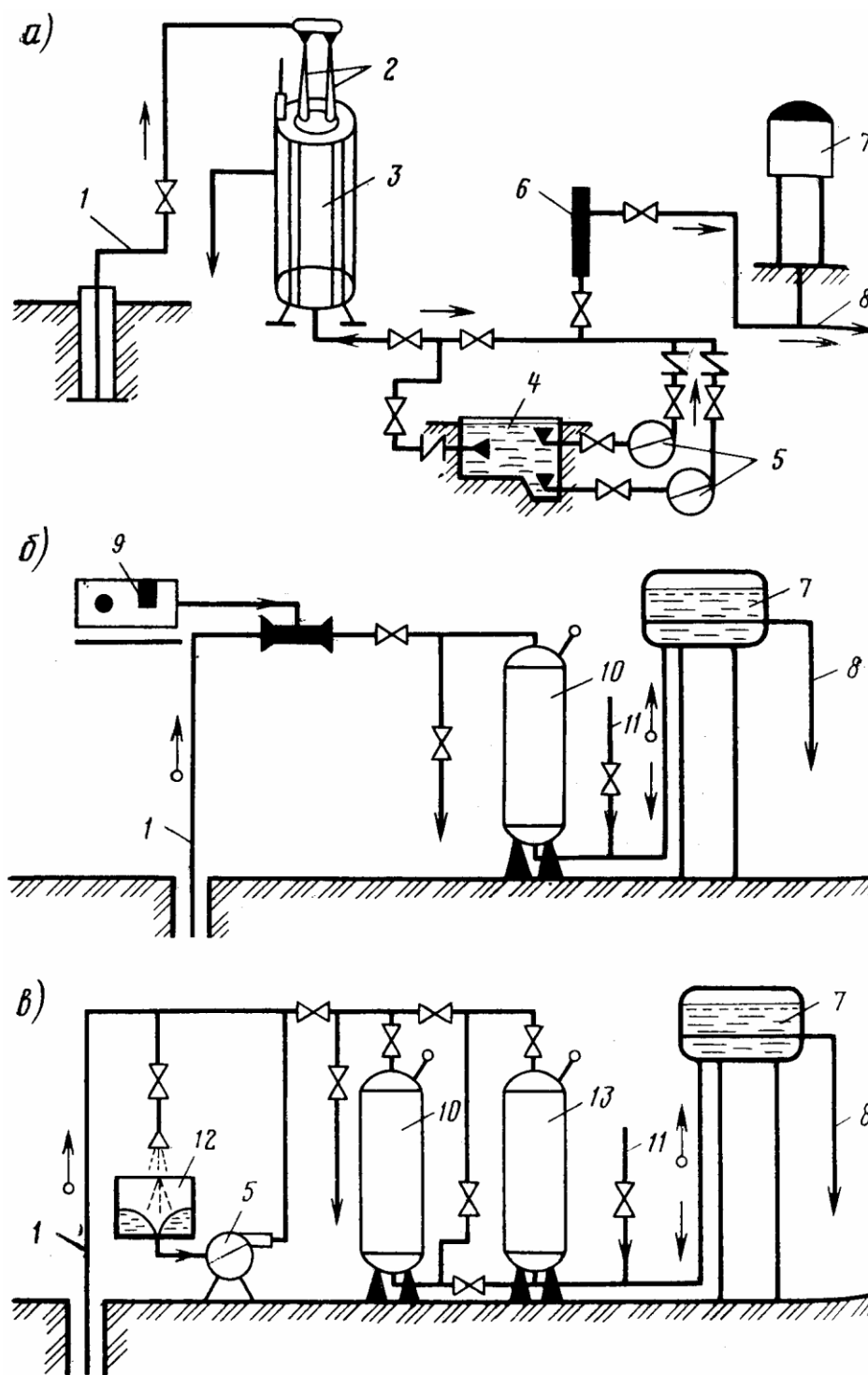


Рис. 4.8. Технологические схемы установок обезжелезивания воды:

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

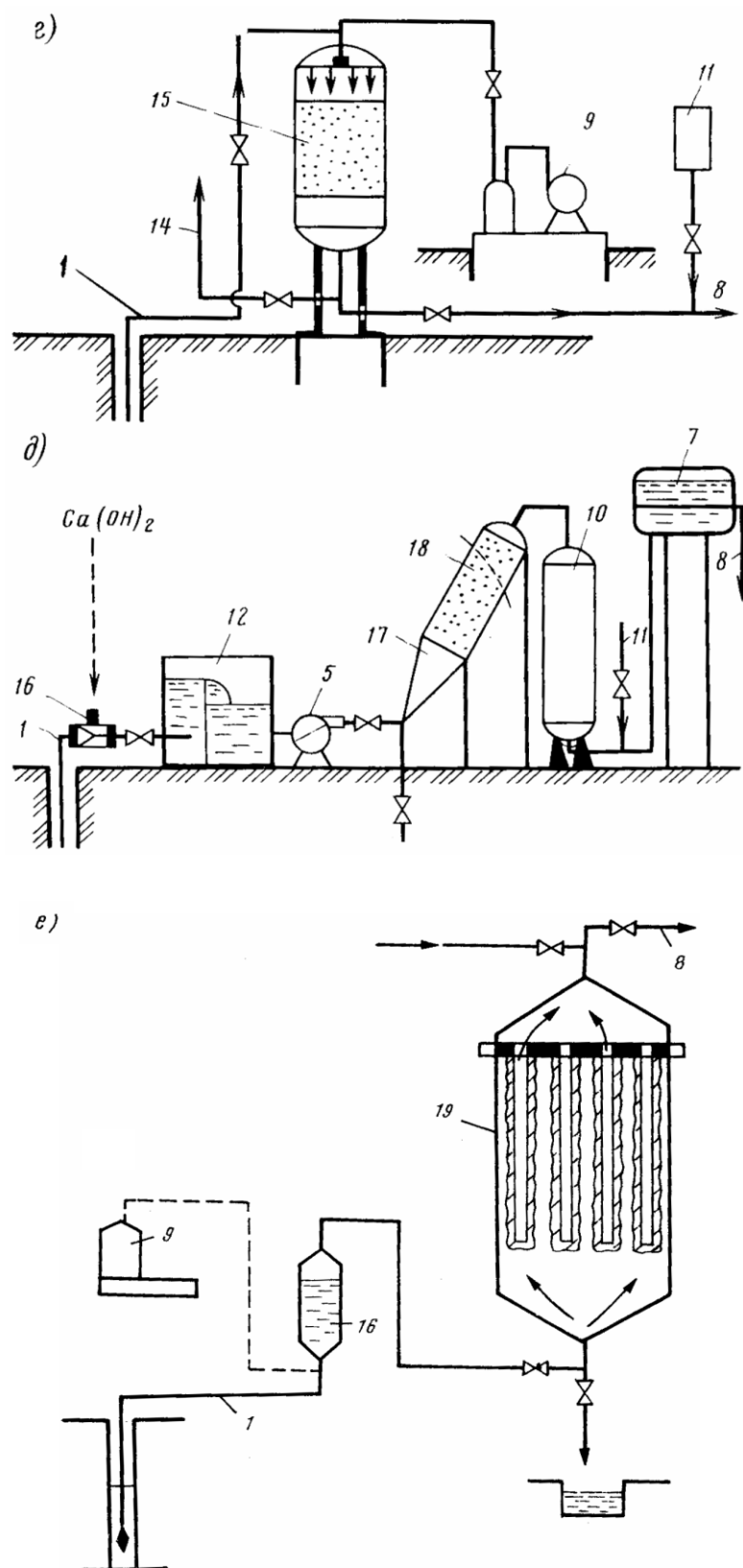


Рис. 4.8. Технологические схемы установок обезжелезивания воды (продолжение):
 а – сухая фильтрация; б – известкование; в – фильтрование через намывной слой; 14 – сброс воздуха;
 15 – скорый фильтр с «сухой загрузкой»; 16 – смеситель; 17 – вихревая камера хлопьеобразования;
 18 – тонкослойный отстойник; 19 – намывной фильтр

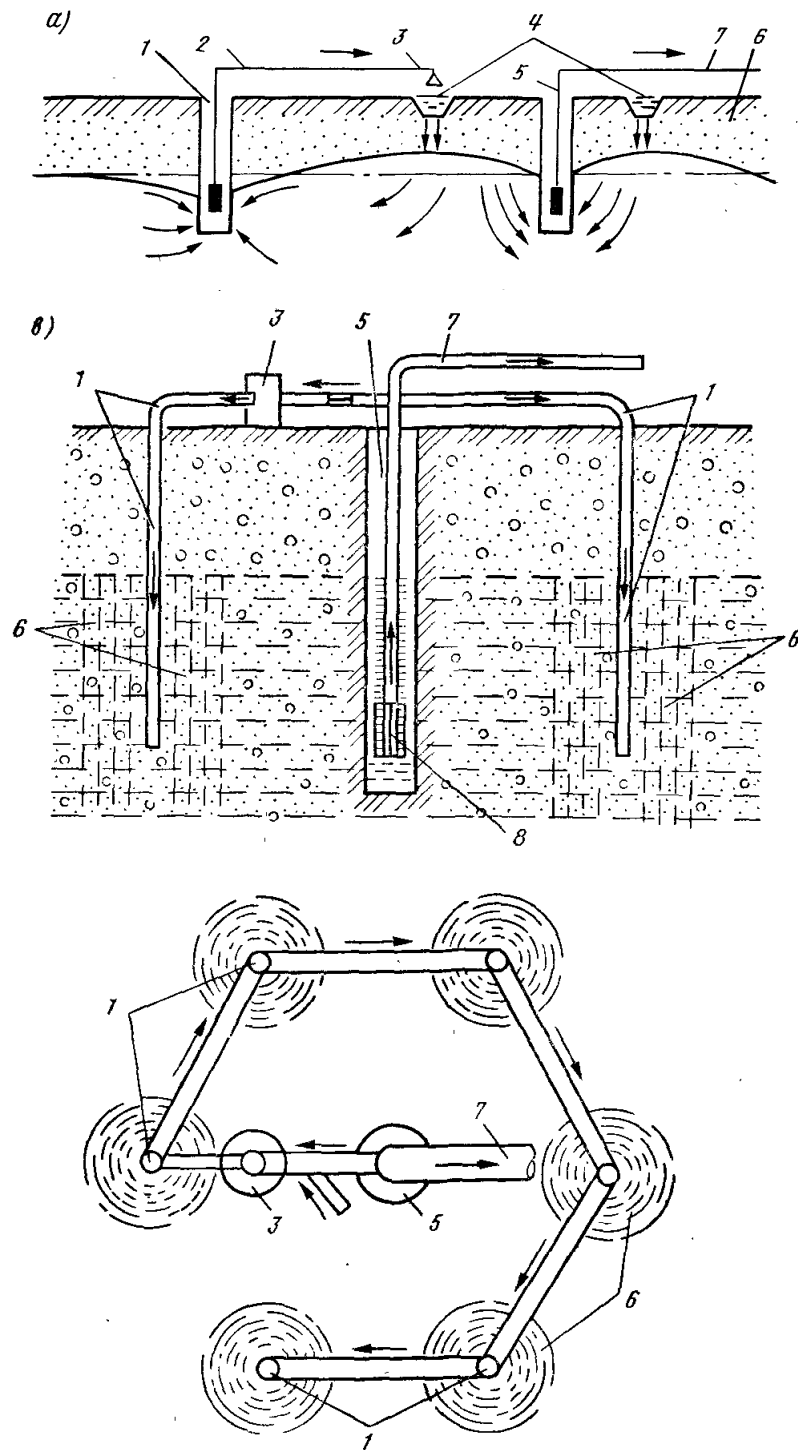


Рис. 4.9. Схема очистки подземных вод в пласте (система «Гидрооксиринг»):

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

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 оксидации 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 оксидации всего железа (II) в трёхвалентное и перевод его в гидроксид. Упрощённая аэрация осуществляется с помощью несложных приспособлений путём излива воды с небольшой высоты в карман или центральный канал фильтра, либо путём вдувания воздуха в обрабатываемую воду.

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 в воде), 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 грязеемкость 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 окислации 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.

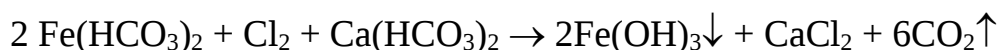
Обезжелезивание воды фильтрованием через модифицированную загрузку применяют при её повышенной окисляемости. Оно основано на увеличении сил адгезии путём воздействия на молекулярную структуру поверхности зёрен фильтрующей загрузки. Для увеличения сил адгезии необходимо на поверхности зёрен фильтрующей 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:

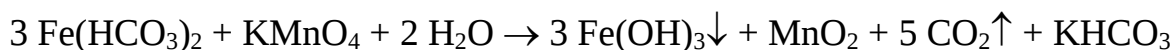


Дозу хлорреагента, мг/л, определяют по формуле:

$$D_x = 0,65 \div 0,7 [\text{Fe}^{2+}], \quad (4.6)$$

где $[\text{Fe}^{2+}]$ – концентрация двухвалентного железа в исходной воде, мг/л.

Окисление двухвалентного железа перманганатом калия описывается следующим уравнением:



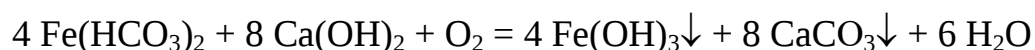
Расчетная доза перманганата калия, мг/л:

$$D_{\text{п}} = [\text{Fe}^{2+}], \quad (4.7)$$

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 известки (в пересчете на CaO), мг/л, рассчитывают по формуле:

$$D_{\text{и}} = 0,8 [\text{CO}_2] + 1,8 [\text{Fe}^{2+}]. \quad (4.8)$$

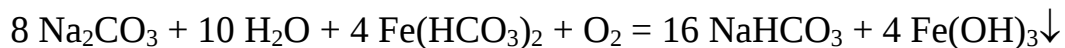
При обезжелезивании поверхностных вод, предусматриваемым одновременно с их осветлением и обесцвечиванием, дозу известки (в пересчете на CaO), мг/л, определяют по формуле:

$$D_{\text{и}} = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{28} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} \right), \quad (4.9)$$

где $[\text{CO}_2]$ и $[\text{Fe}^{2+}]$ – 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 «Manganese 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.

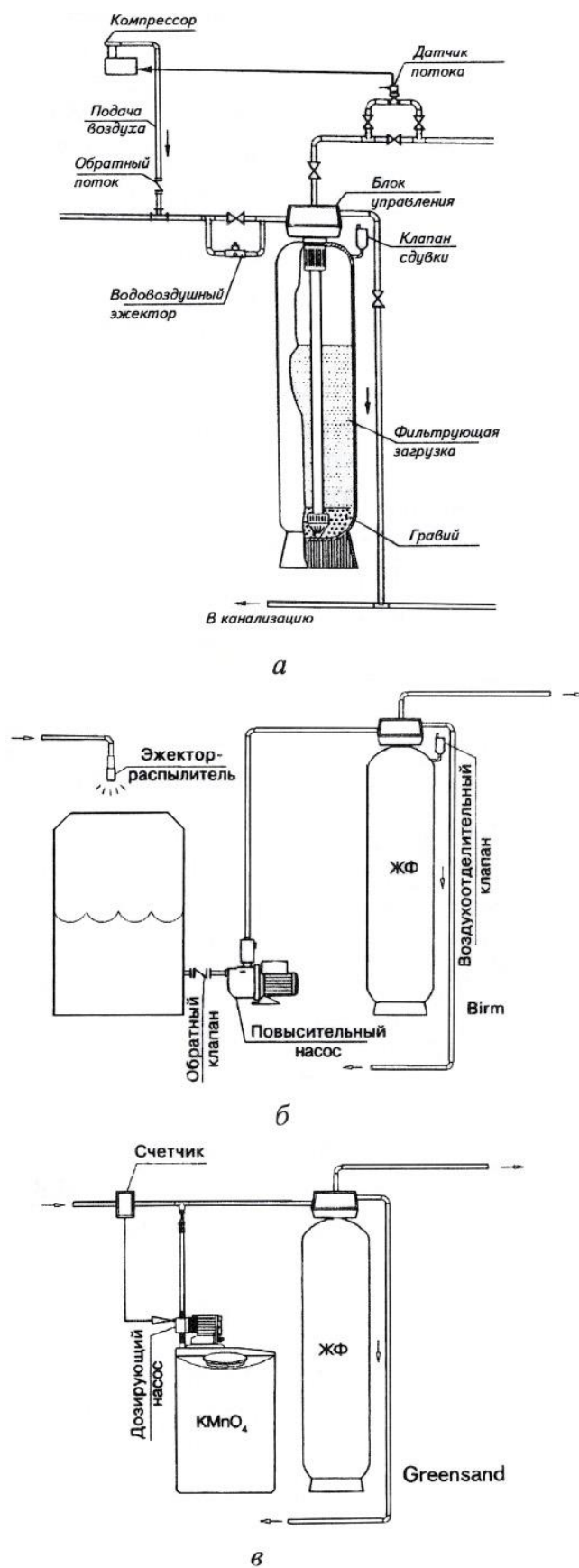


Рис. 4.10. Устройство установок обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку малой производительности:

а) – загрузка (BIRM) с эжектором; б) – загрузка (BIRM) с упрощенной аэрацией; в) – загрузка (GREENSAND) с регенерацией перманганатом калия

Для установок малой и средней производительности (до 2000 куб. м. в сутки) используются унифицированные фильтры с корпусами из стеклопластика и управляющими клапанами (рис. 4.10). В случае применения постоянного дозирования перманганата калия в исходную воду, регенерация фильтра производится аналогично обычным механическим фильтрам – обратной промывки.

4.2.2. Удаление марганца из воды

В подземных водах марганец чаще всего встречается в форме бикарбоната $Mn(HCO_3)_2$, 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.

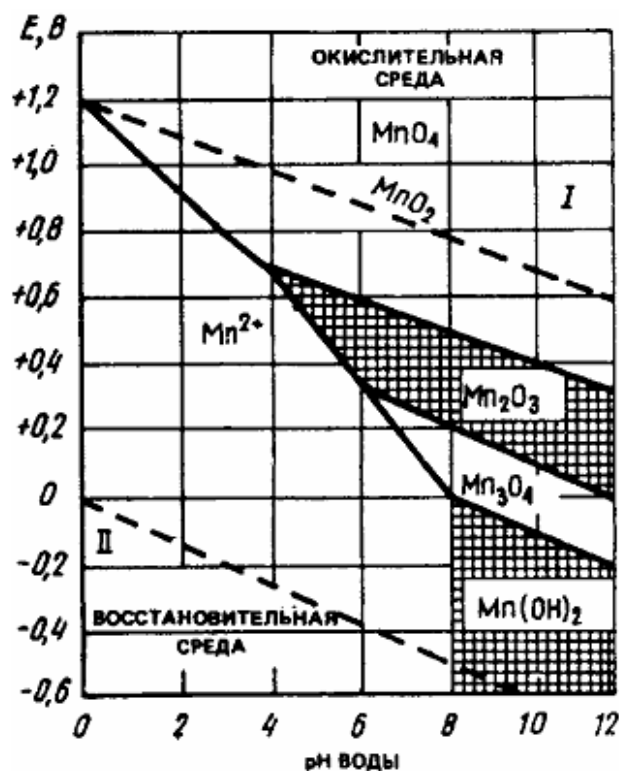


Рис. 4.11. Диаграмма Пурбе для марганца

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.

Таблица 4.2

Условия применения методов деманганизации и их сущность

Метод	Условия применения	Сущность метода
Аэрация с последующим фильтрованием	При наличии в воде марганца и железа воду, подаваемую на марганцевый катионит,	Метод основан на использовании окислительной способности высших окислов марганца, участвующих в процессе окисления

через «черный» песок, пиролюзит, марганцевый катионит	необходимо предварительно обезжелезивать	КМnO₄ при фильтровании азрированной 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.
Обработка сильными окислителями с последующим коагулированием, отстаиванием (при необходимости) и фильтрованием	Требуется подщелачивание воды до pH 8-8,5; Использование двуокиси хлора затруднено из-за необходимости применения сложных в эксплуатации установок; При одновременном содержании в воде железа и марганца обработка воды производится в две стадии с первоначальным окислением и выделением железа; Метод деманганизации с использованием перманганата калия применим как для очистки подземных вод, как и для поверхностных	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 (pH = 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.
Обработка сернокислым железом, подщелачивание, отстаивание с последующим	Метод применим 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

фильтрованием		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-эжекторная аэрация, фильтрование	Перманганатная окисляемость до 9,5 мг O_2 /л	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.
Удаление марганца из подземных вод в пласте	Содержание Mn^{2+} в исходной воде до 0,5 мг/л, высокий pH	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
Биохимический метод	Необходимым условием является предварительное удаление железа из обрабатываемой воды	Сущность метода заключается в высевании на зерна 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+}

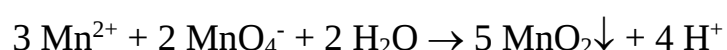
Аэрация с последующим фильтрованием через «черный» песок, пиролюзит, марганцевый катионит. Метод основан на использовании окислительной способности высших окислов марганца, участвующих в процессе окисления $KMnO_4$ при фильтровании аэрированной и подщелаченной воды через загрузку. В качестве загрузки 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 $\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Недостатками метода с использованием катализаторов являются значительный расход KMnO_4 , 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 Mn^{2+} 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 (KMnO_4), 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 KMnO_4 ; устройства для гидравлического или механического перемешивания, обеспечивающие протекание процесса растворения; насосы-дозаторы; склад реагента.

Концентрацию раствора ориентировочно принимают в пределах 20-30 % растворимости KMnO_4 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.

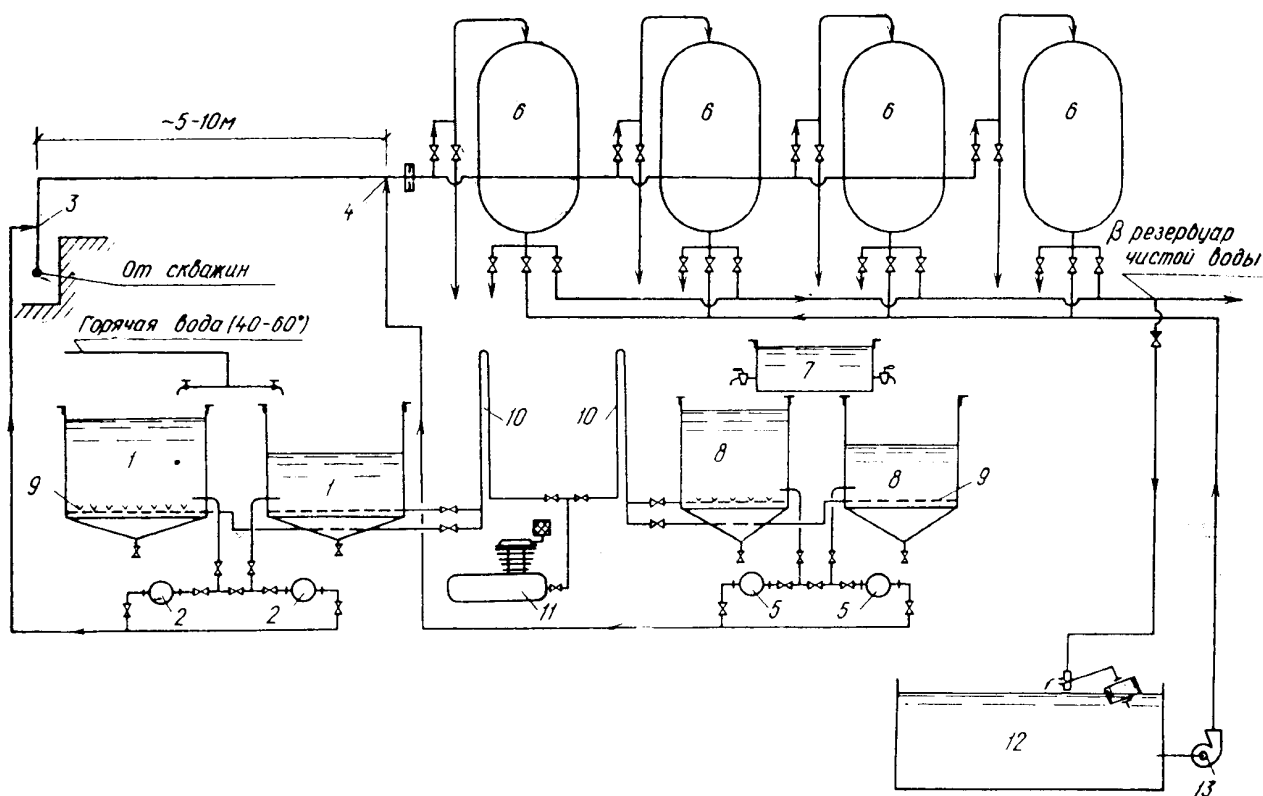


Рис. 4.12. Схема установки для удаления марганца из подземной воды перманганатом калия:

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.

4.1.3. Обезжелезивание шахтных вод

Источниками образования шахтных вод являются подземные горизонты, поверхностные воды, атмосферные осадки и воды, скопившиеся в затопленных горных выработках, а также воды, попадающие в шахты в процессе добычи полезных ископаемых. Шахтные воды подразделяются на два типа: кислые (железосодержащие) и высокоминерализованные. Основными ингредиентами состава шахтных вод являются мелкодисперсные взвеси, состоящие из зерен угля и размытых сопутствующих пород, соединения железа, хлориды, сульфаты (табл. 4.3). Кислые шахтные воды отличаются не только низкими значениями pH, но и большим содержанием железа, что существенно осложняет их обработку. Образование кислых шахтных вод связано с окислением веществ, содержащих серу (марказит, пирит и др.), а также с жизнедеятельностью тионовых бактерий – *Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus ferrooxidans*.

О количестве шахтных вод можно судить по данным МУП России: на каждую тонну добытого угля откачивается на поверхность 3 м³ воды. Сброс в водоемы неочищенных шахтных вод отрицательно действует на почву и растительный покров, загрязняет воду, приводит к необратимым процессам в природе. Особенно большой вред водоемам причиняют кислые железосодержащие шахтные воды, понижая pH, что влечет за собой гибель рыб, пресноводных организмов и сапрофитных микроорганизмов, участвующих в процессах самоочищения воды.

Основой технологии обезжелезивания шахтных вод является окисление железа (II) с последующим образованием гидроксида железа и выделением его при отстаивании или фильтровании. В зависимости от качества шахтной воды и требований к ее обработке может быть использована одна из следующих технологических схем: 1) аэрирование на ступенчатом аэраторе и отстаивание в горизонтальном отстойнике; 2) известкование, аэрирование на ступенчатом аэраторе и отстаивание в отстойнике; 3) смешивание с известью в вертикальном смесителе, флокулирование ПАА в вихревой камере хлопьеобразование и отстаивание в радиальном отстойнике; 4) известкование, аэрирование эжектированием, фильтрование через конические сетки, грубое осветление в песколовках, хлопьеобразование в перегородчатых камерах, осветление в тонкослойных отстойниках, фильтрование на скорых фильтрах и обеззараживание (вариант); 5) известкование, аэрирование эжектированием, фильтрование через конические сетки, предварительное осветление в песколовках, электрокоагулирование (вариант), осветление в тонкослойных отстойниках, фильтрование на скорых фильтрах, бактерицидное облучение.

Таблица 4.3

Состав шахтных вод

Бассейн	рН	Содержание, мг/л				
		Взвешенных веществ	Сухого остатка	Железа общего	Хлоридов	Сульфатов
Донецкий	6,8...9,1	20...12860	30...6010	0...33	25...3180	130...7490
Днепропетровский	7,2...7,6	100...790	700...9030	0,1...13	15...5100	200...640
Львовско-Волынский	6,8...8	2...540	705...8340	0,5...5000	10...5000	20...655
Кузнецкий	6,6...8,5	10...37155	295...1560	1,75	4...115	765
Подмосковный	4,4...8,2	2...25560	3...3100	0,7...287	0,3.. 155	0,3...65
Кизеловский	2,8...4	162...5360	1053...5400	54...1170	1,24	490...3800
Егоршинское месторождение	7,2...8	10...355	420...2460	0,4...1,6	12...760	35...810
Челябинский	6,9...8,4	42...1720	1210...14630	0,1...1,9	127...5500	140...3750

При обезжелезивании слабощелочных шахтных вод, содержащих двухуглекислое железо, а также кислых вод, содержащих сернокислое железо, целесообразно применять соответственно первую и вторую схемы. Одним из основных сооружений указанных схем является ступенчатый аэратор, размещаемый над распределительным каналом отстойника. Аэратор представляет собой систему насадок из реек с зазором 2...3 мм, располагаемых по высоте друг над другом на 0,4 м. Количество кислорода $[O_2]$, которым насыщается вода, можно определить из выражения

$$[O_2] = 492 + 1,98h - 0,34h^2, \quad (4.10)$$

где h – высота перепада воды, м.

Постоянный обмен воздуха в объеме аэратора обеспечивается благодаря незначительной его ширине (0,4...0,8 м). При содержании железа (II) до 52 мг/л следует применять пять насадок, при большем количестве исходного железа нужно либо увеличить число насадок, либо предусмотреть повторную аэрацию или барботаж.

Третья технологическая схема, предложенная Пермским НИУИ, предназначена для очистки кислых железосодержащих шахтных вод перед сбросом их в водоем и обеспечивает повышение рН до 6,6...8,5 и снижение содержания железа до 0,5 мг. Шахтные воды подают в приемный резервуар-усреднитель, затем разделяют на два равных потока и передают в двухсекционный смеситель, где смешивают с известковым молоком, доводя рН после первой секции до 3,8...6, а после второй – до 9,5...12. Из смесителя нейтрализованную воду направляют в камеру хлопьеобразования, перед которой оба потока смешивают и в воду вводят раствор ПАА, затем вода подается в отстойник, откуда отводится в резервуар технической воды, а осадок идет на уплотнитель.

Четвертая технологическая схема предусматривает обезжелезивание также кислых шахтных вод с большим содержанием механических примесей перед сбросом их в местную гидрографическую сеть, снизив содержание взвешенных веществ до 15 мг/л и железа до 0,5 мг/л, а при наличии фильтров и установок обеззараживания воды – до лимитов ГОСТ 2874-82. Расход эжектируемого воздуха составляет 50 л на 1 м³ воды. Для перевода железа (II) в окисное и образования хлопьев гидроксида предусмотрены камеры хлопьеобразования, рассчитываемые на 30-минутное пребывание воды. Особенностью схемы является применение водоочистных аппаратов (песколовки, отстойники, фильтры и др.) заводского изготовления.

Песколовки ДонУГИ предназначены для предварительной очистки шахтных вод от плавающих грубодисперсных примесей. В состав песколовки входят: фильтр предварительной очистки – объемная коническая самопромывающая сетка с отверстиями шириной 1 м, высотой 20 мм и длиной 1,2 м, в которых формируется ламинарный поток; камера накопления и уплотнения осадка и коллектор для сброса и отведения осветленной воды. В песколовке задерживаются примеси крупностью до 60...30 мкм. Производительность аппарата 300 м³/ч, допустимое давление 0,29 МПа, рабочая площадь по сечению потока 1 м².

Тонкослойные отстойники ДонУГИ предназначены для очистки шахтных вод от механических примесей с гидравлической крупностью до 0,1 мм/с и соединений железа с применением реагентов или без них. Они состоят из камеры осветления, где размещены наклонные под углом 60° ячейки высотой 22 мм, длиной 1,7 м и шириной 0,75 м, обеспечивающие ламинарную структуру потока, и камеры накопления и уплотнения осадка. Отстойники выпускают двух производительностей – 60 и 100 м³/ч, рабочей площадью по сечению потока соответственно 2,4 и 4,8 м².

Пятая технологическая схема (автоматизированная), предложенная ДонУГИ, производительностью 150 м³/ч предназначена для обработки кислых

железосодержащих шахтных вод с целью доведения их до питьевого качества. Помимо описанных аппаратов в рассматриваемой схеме предусматриваются *бактерицидные установки ОВ-АКХ-1* или электролизеры «Поток» и *электрокоагуляторы проточного типа* производительностью до 50 м³/ч с 60 алюминиевыми электродами толщиной 2 мм и общей площадью 168 м², сгруппированными в шесть пакетов. При прохождении воды в течение 10 мин. в межэлектродном пространстве шириной 5 см должна обеспечиваться плотность тока 1 А/м² при напряжении на электродах 3...5 В. Ванна электрокоагулятора размером 3,71x1,51x5,4 м одновременно является камерой хлопьеобразования.

В комплект установки входят пять осветлительных фильтров типа ХВ-044-2, выпускаемых Бийским котельным заводом и работающих под давлением 0,49 МПа при скорости фильтрования до 30 м/ч. Фильтрующая загрузка имеет крупность 0,8...2 мм; высота ее 1,3...1,5 м. Одновременно работают три фильтра, один промывают и один в резерве.

4.3. Дегазация воды

4.3.1. 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

$$C = kP, \quad (4.11)$$

где C – массовая концентрация газа в насыщенном растворе; P – парциальное давление; k – коэффициент пропорциональности (константа Генри).

4.3.2. 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 деаэратеры. 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

$$G = K_m A \Delta C_{cp}, \quad (4.12)$$

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 малоconцентрированных растворов газов определяют по уравнению

$$\Delta C_{cp} = \frac{(C_{вх} - C_{p.вх}) - (C_{вых} - C_{p.вых})}{2,3 \lg \frac{(C_{вх} - C_{p.вх})}{(C_{вых} - C_{p.вых})}}, \quad (4.13)$$

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 *пленочный* дегазатор, загруженный

кольцами Рашига (рис. 4.13, 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. 4.13, б) для удаления из воды свободной углекислоты целесообразно только в случаях H-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.

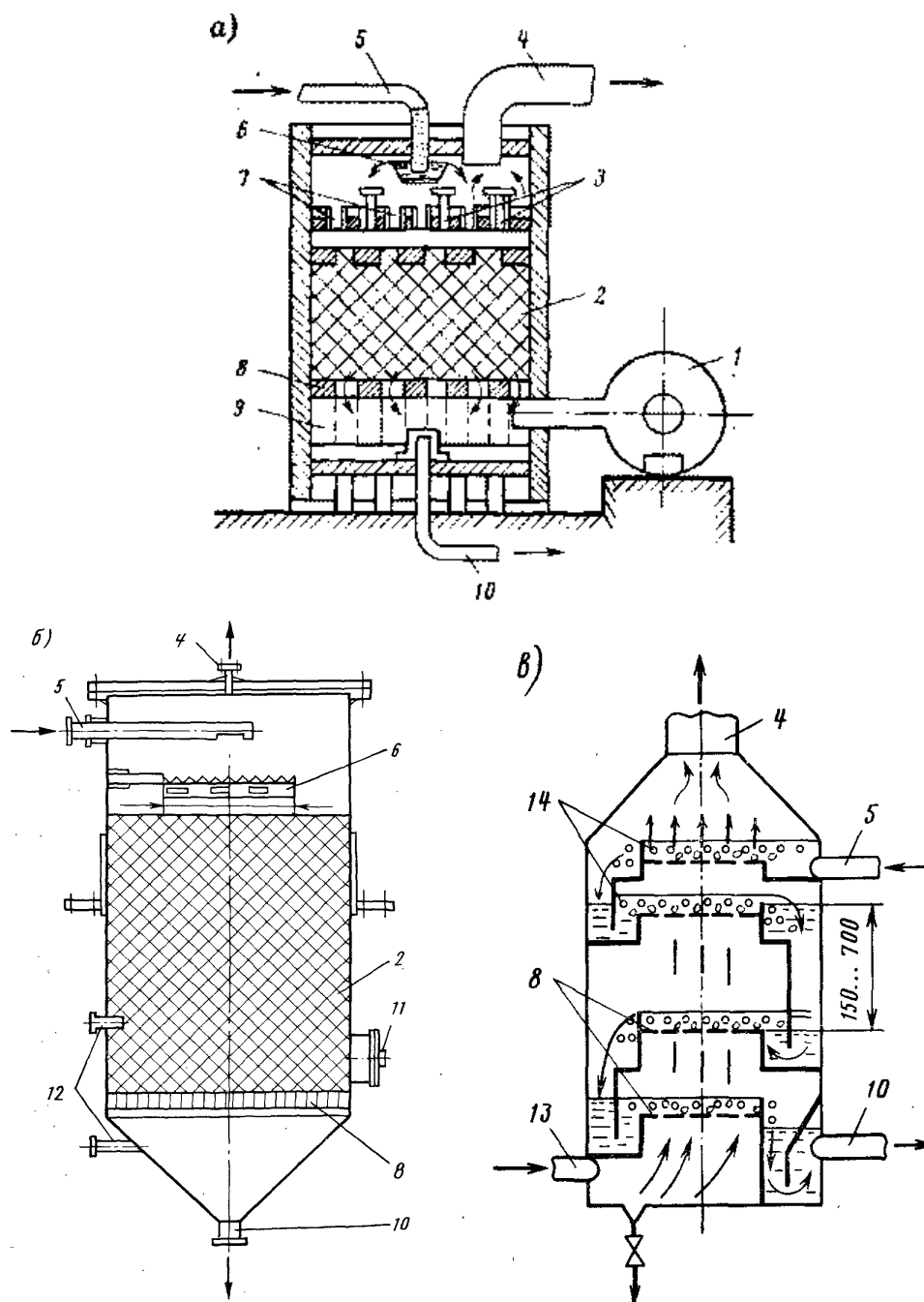


Рис. 4.13. Пленочный (а), вакуумный (б) и пенный (в) дегазатор:

1 – вентилятор; 2 – насадка из керамических колец Рашига; 3 – газоотводной патрубок; 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. 4.13, 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. 4.14 изображена схема установки для дегазации в вакууме с подогревом и без подогрева воды.

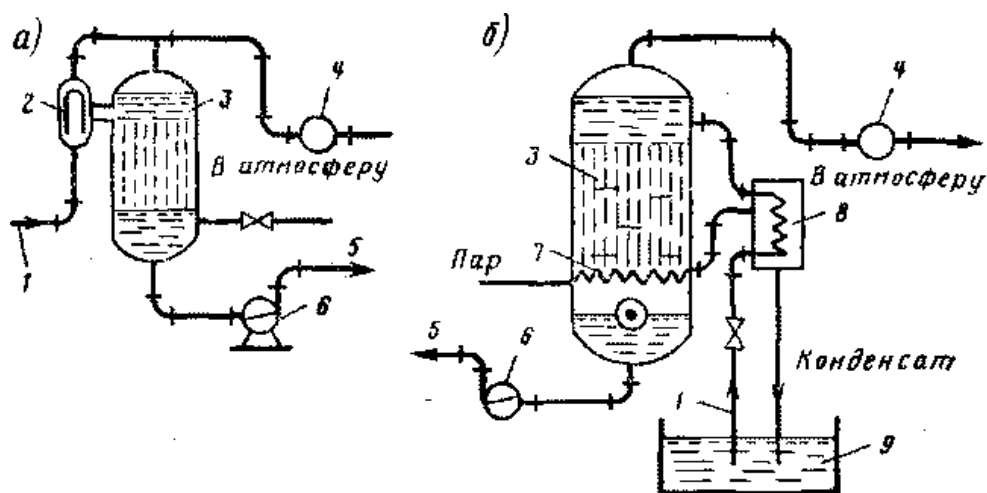


Рис. 4.14. Установки дегазации воды под вакуумом без подогрева (а) и с подогревом (б):

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:

$$C_{\text{вх}} = 44J_{\text{к}} + C_{\text{нач}}, \quad (4.14)$$

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. 4.15). 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

$$C_{\text{нач}} = C_{\text{ном}} \alpha \beta, \quad (4.15)$$

где $C_{\text{ном}}$ – содержание свободной углекислоты, найденное по номограмме; α – поправка на температуру; β – поправка на плотный растворенный остаток.

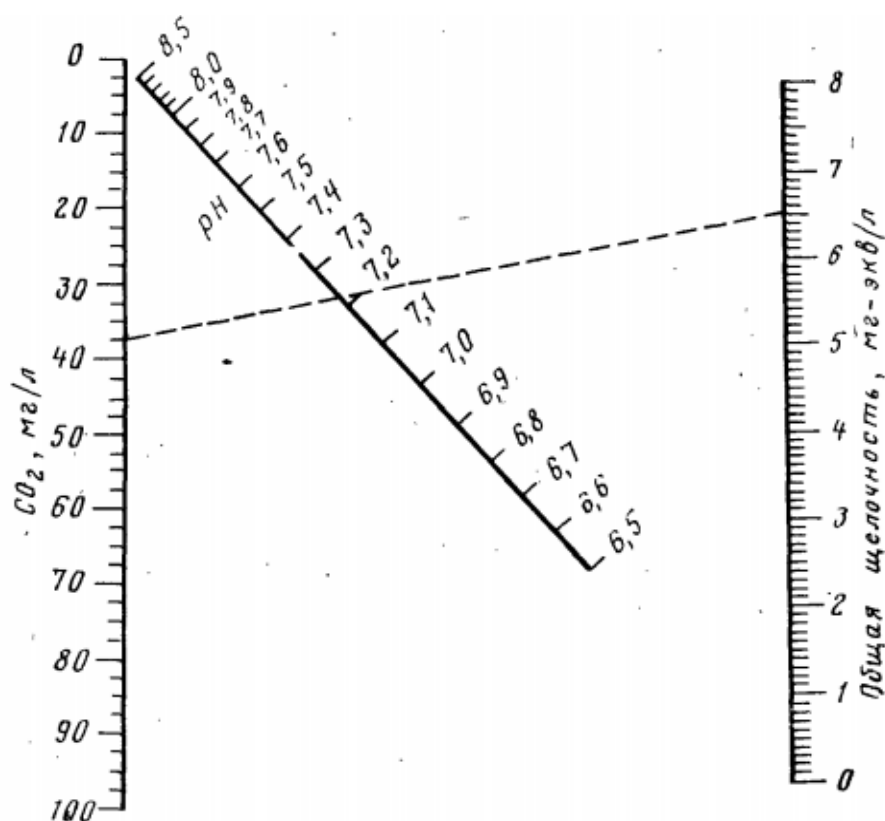


Рис. 4.15. Номограмма для определения содержания в воде свободной углекислоты

При отсутствии в анализе данных о значении pH и щелочности воды концентрацию свободной углекислоты в исходной воде (в мг/л) можно ориентировочно определять по формуле:

$$C_{\text{нач}} = 0,268(J_{\text{к}})^3. \quad (4.16)$$

где $J_{\text{к}}$ – карбонатная жесткость воды, мг-экв/л.

При дегазации воды в цикле обезжелезивания воды аэрацией

$$C_{\text{вх}} = 1,57C_{\text{Fe}} C_{\text{нач}}. \quad (4.17)$$

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, а 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).

4.3.3. 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) $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Удельная подача воздуха — $12 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

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 $\text{pH} < 5$. В таких условиях высокая концентрация водородных ионов подавляет диссоциацию сероводорода, поэтому большая

часть его будет находиться в молекулярной форме, которая легко удаляется аэрированием.

4.3.4. 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, исключая 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. 4.16).

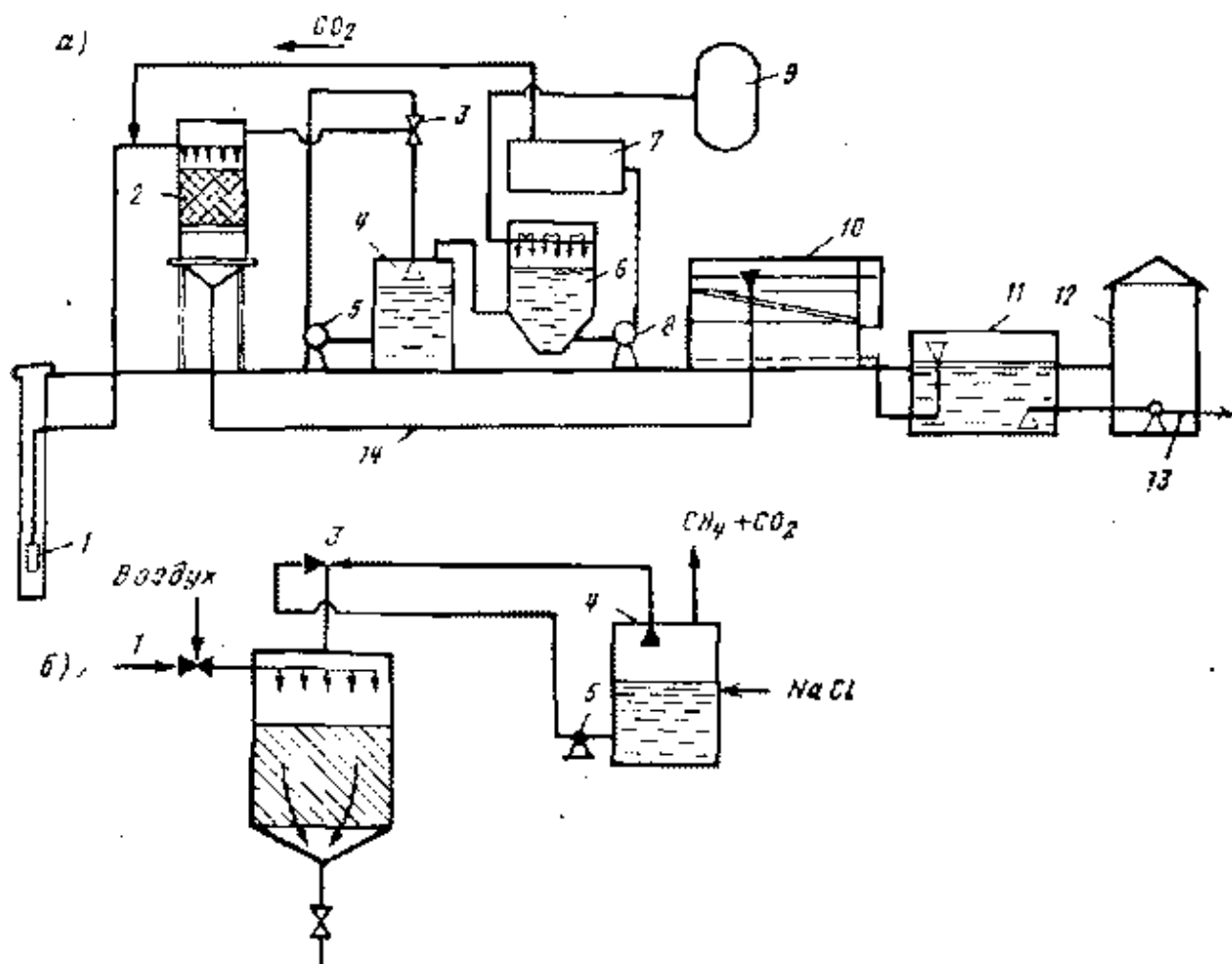


Рис. 4.16. Технологическая схема удаления метана из подземных вод вакуумным способом с предварительным насыщением исходной воды воздухом (б) или инертным газом (а):

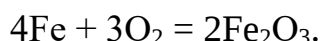
1 — подача исходной воды из скважины, 2 — вакуумный дегазатор, 3 — эжектор, 4 — промежуточная емкость с высокоминерализованной водой, 5 — циркуляционный насос, 6 — бак для раствора извести, 7 — электропечь, 8 — насос для перекачки пульпы CaCO_3 , 9 — газгольдер для метана, 10 — ступень дальнейшей обработки воды, 11 — РЧВ, 12 — насосная станция II подъема, 13 — отвод воды потребителю, 14 — отвод дегазированной воды

4.3.5. 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).

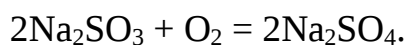
При использовании стальных стружек их обезжиривают и загружают в специальный фильтр, содержание марганца в них не должно превышать 0,3%.

В процессе фильтрования железо, окисляясь, связывает кислород



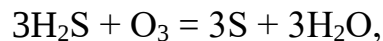
Оксид железа (III) и гидроксид железа (III), образовавшиеся в результате коррозии стружек, удаляют обратной промывкой. Продолжительность контакта воды со стружками зависит от температуры и уменьшается от 25 до 3 мин при увеличении температуры от 20 до 80°C.

Чаще всего применяют обработку воды сульфитом натрия

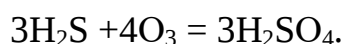


Для удаления 1 мг кислорода расходуется 7,9 мг сульфита натрия.

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.

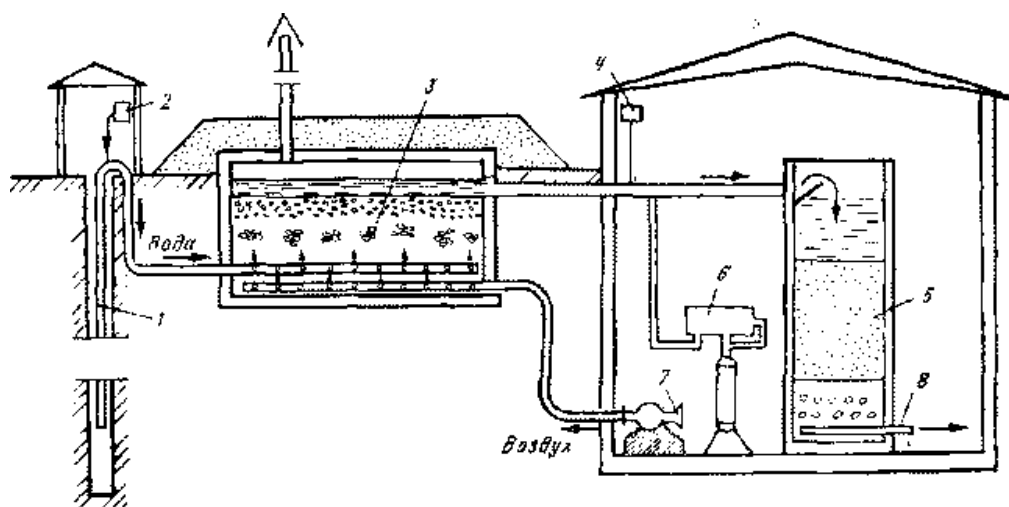
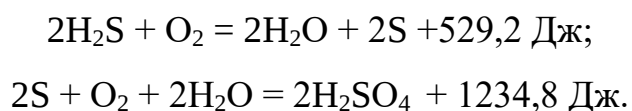


Рис. 4.17. Установка биохимического извлечения сероводорода и воды.

1 – трубчатый колодец с погружным насосом; 2 – дозатор биогенных (азотных, фосфорных) соединений; 3 – реактор биохимического окисления; 7 – воздуходувка; 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. 4.17).

4.4. Удаление из воды микроэлементов

4.4.1. Удаление из воды бора и брома

В СанПиНе имеется большой 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.

На рис. 4.18 показаны выходные кривые сорбции ионов BO_3^{2-} и Br^- при использовании анионитов. Для удаления ионов бора и брома наиболее эффективно используют метод обратного осмоса.

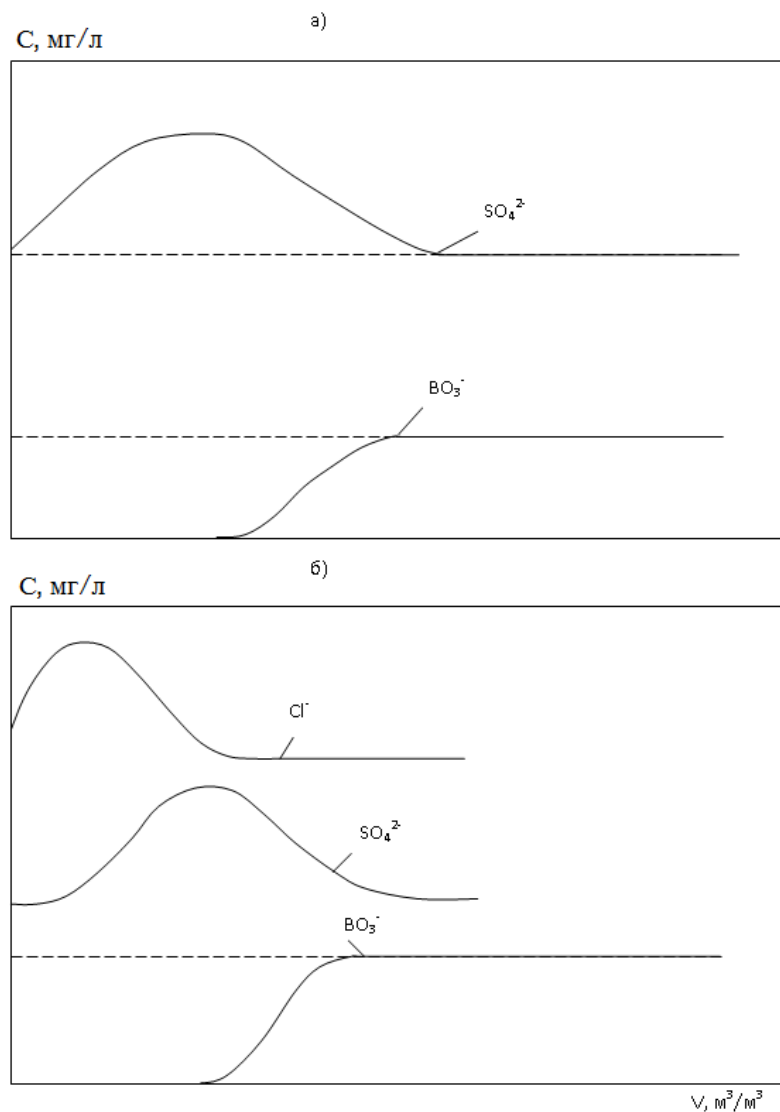
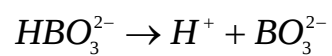
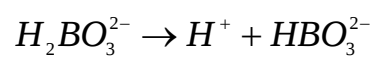
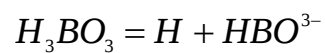


Рис. 4.18. Выходные кривые сорбции ионов Cl^- , SO_4^{2-} , BO_3^{3-} при использовании бор-селективной смолы S-108 в SO_4^{2-} -форме (а) и в Cl^- -форме (б).

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. 4.19 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^- .

При содержании бора в природных водах на уровне 4-5 мг/л, часто одной ступени обратноосмотического 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.

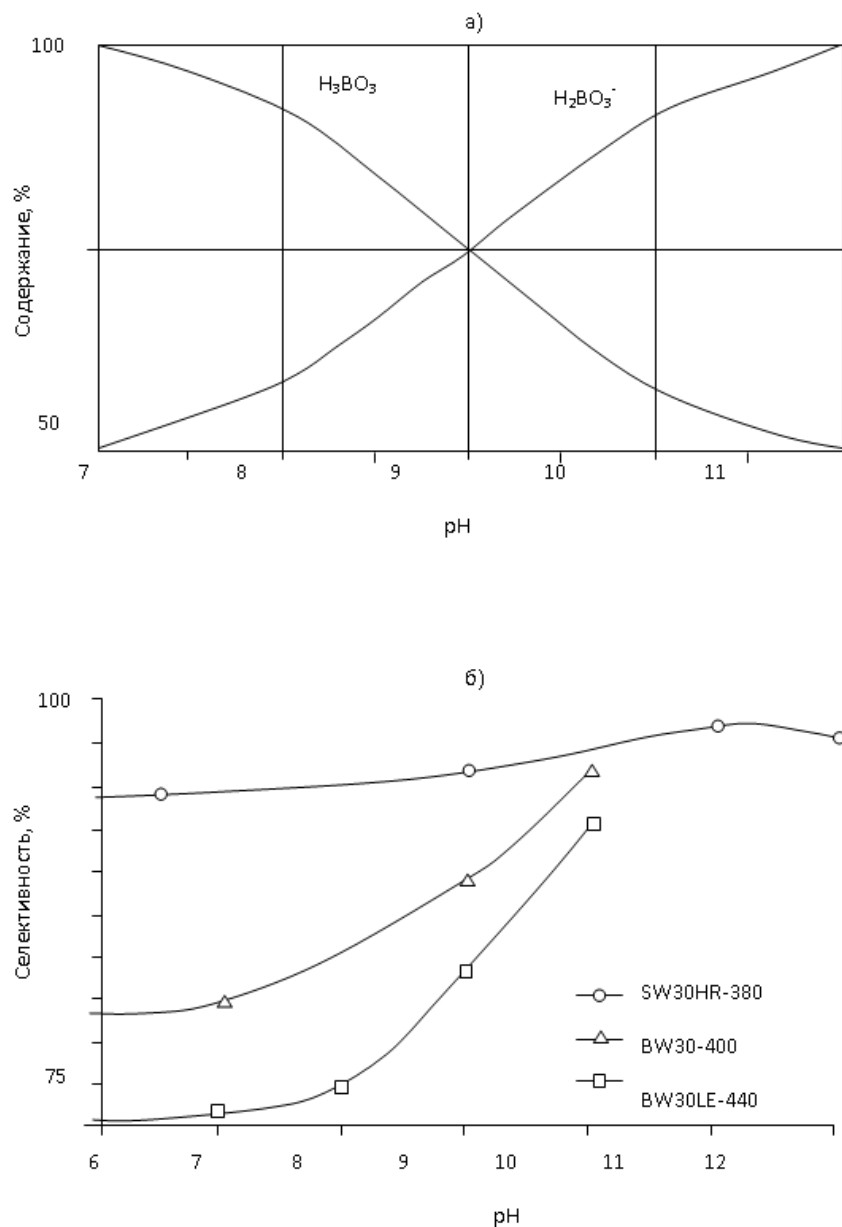


Рис. 4.19. Отношение концентраций $H_3BO_3/H_2BO_3^-$ как функция pH (а):

1 – H_3BO_3 ; 2 – $H_2BO_3^-$; изменение селективности по бору в зависимости от величины pH для различных мембран (б).

На рис. 4.20 показана технологическая схема двухступенчатой установки обратного осмоса.

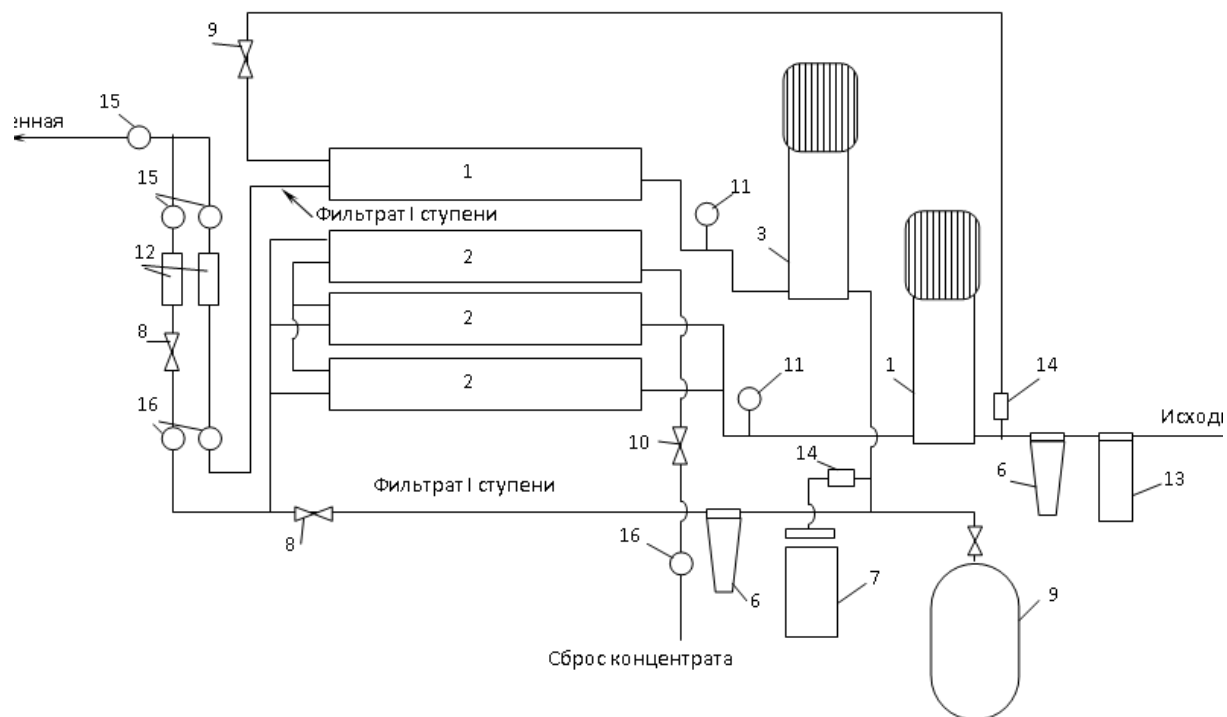


Рис. 4.20. Технологическая схема установки получения питьевой воды из подземного минерализованного источника с повышенным содержанием бора.

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. 4.20).

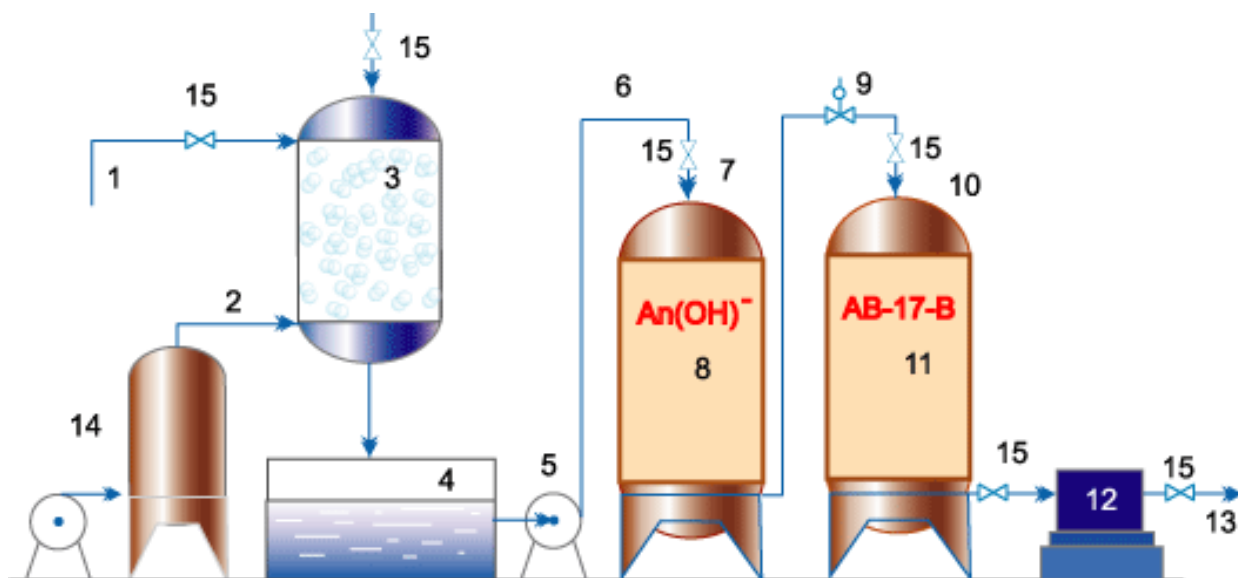


Рис. 4.20. Принципиальная технологическая схема удаления из подземных вод бора и брома:
 1 - подача подземной воды; 2 — подача сжатого воздуха; 3 - дегазационно-аэрационная колонна; 4 - бак для дегазированной воды; 5 - насос; 6 - подача воды на ОН-анионитовый фильтр; 7 - ОН-анионитовый фильтр; 8 - высокоселективная 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

4.4.2. 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 ($Pr_{\text{Pb}(\text{OH})_2} = 1,1 \cdot 10^{-20}$, $Pr_{\text{Cu}(\text{OH})_2} = 5,5 \cdot 10^{-20}$).

Цинк также удаляется осаждением в виде гидроокиси при подщелачивании воды известью ($Pr_{\text{Zn}(\text{OH})_2} = 7,1 \cdot 10^{-18}$) или в виде карбоната при подщелачивании содой ($Pr_{\text{ZnCO}_3} = 1,45 \cdot 10^{-11}$).

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 серноокислым 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.

4.4.3. 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 NO_3^- и обменивать их на ионы Cl^- . Однако, на анионите в Cl^- -форме сорбируются также анноны SO_4^{2-} , поэтому содержание хлорид-ионов в воде, прошедшей через анионитовые фильтры в Cl^- -форме, будет равняться суммарному содержанию анионов Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- . 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 SO_4^{2-} имеет большее сродство, чем NO_3^- , поэтому сульфат-ион может вытеснять нитрат-ион из анионита (рис. 4.21, а). 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 нитратам выше, чем к сульфатам (например, А-520Е фирмы Purolite IMAK HP555 фирмы Rohm & Haas). Выходные кривые сорбции ионов SO_4^{2-} , NO_3^- для нитрат-селективных анионитов показаны на рис. 4.21, б. Как видно из рисунка, обменная емкость только анионита по нитратам в присутствии сульфатов существенно ниже, чему обычного.

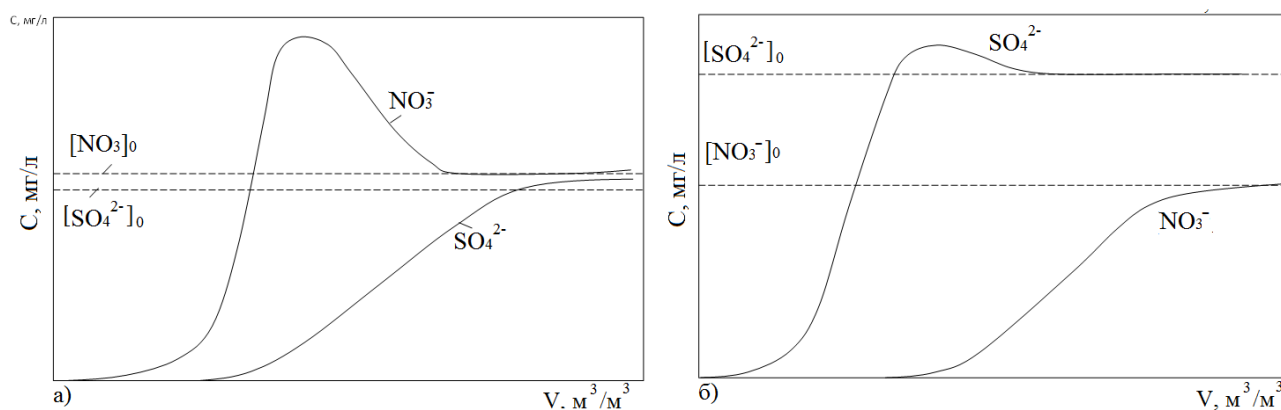
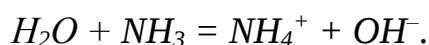


Рис. 4.21. Выходные кривые сорбции для обычных (а) и селективных к нитратам (б) анионитов.

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). На рис. 4.22 показаны выходные кривые сорбции ионов NH_4^+ при Na-катионировании. Емкость катионита по ионам аммония оказывается незначительной.

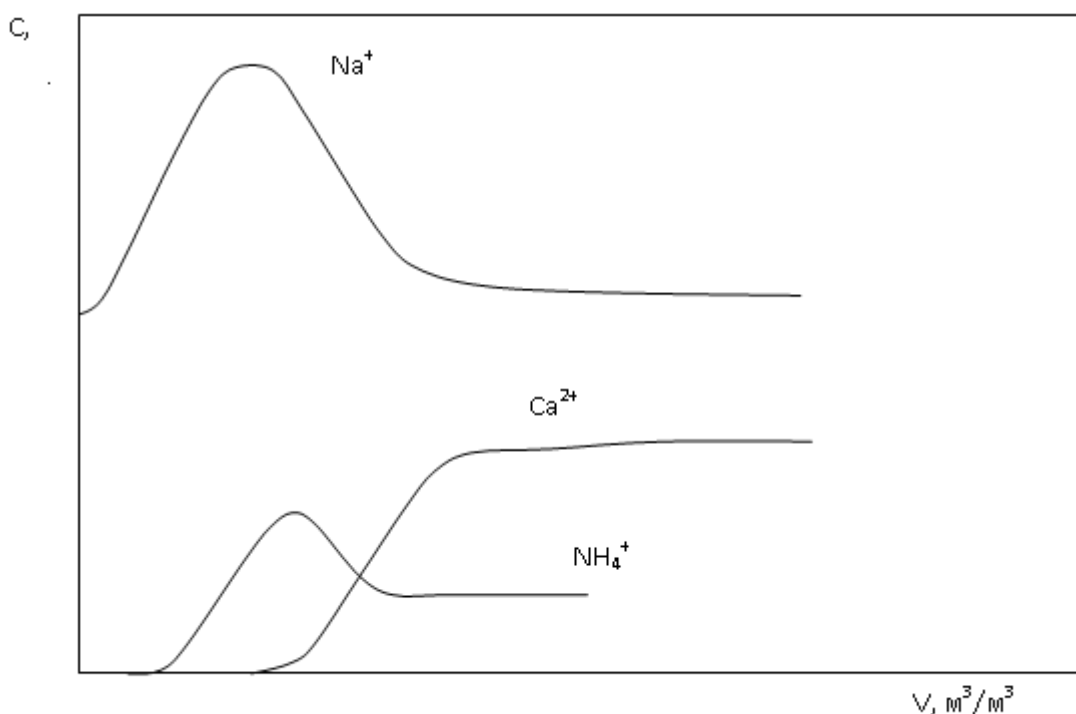


Рис. 4.22. Выходные кривые сорбции ионов Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ при фильтровании воды через катионит в Na-форме.

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.

4.4.4. 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.

Кремниевая кислота является основным компонентом сложных силикатных накипей (до 50% кремниевой кислоты, до 30% оксидов железа, меди и алюминия и до 10% оксида натрия), которые способны отлагаться на стенках котлов и теплообменных аппаратов. Кремниевая кислота образует накипи с катионами кальция, магния, натрия, железа, аммония. Силикатная накипь обладает низким коэффициентом теплопроводности и поэтому существенно снижает теплотехнические показатели работы котлов и теплообменных аппаратов.

Таким образом, вода, содержащая кремниевую кислоту, осложняет и ухудшает работу котлов, турбин, а также различных теплообменных аппаратов, понижает качество продукции ряда производств, поэтому при ее использовании для указанных целей необходимо произвести предварительное обескремнивание воды. Глубина обескремнивания питательной воды для котлов зависит от их рабочего давления, температуры и конструкции.

Содержание кремниевой кислоты в добавочной воде обычно до 0,05...0,1 мг/л (считая по SiO_3^{2-}).

Обескремнивание воды достигается: *осаждением известью; сорбцией гидроксидами железа, алюминия, оксидом или гидроксидом магния; фильтрованием через магнезиальный сорбент; ионным обменом и электрокоагулированием.*

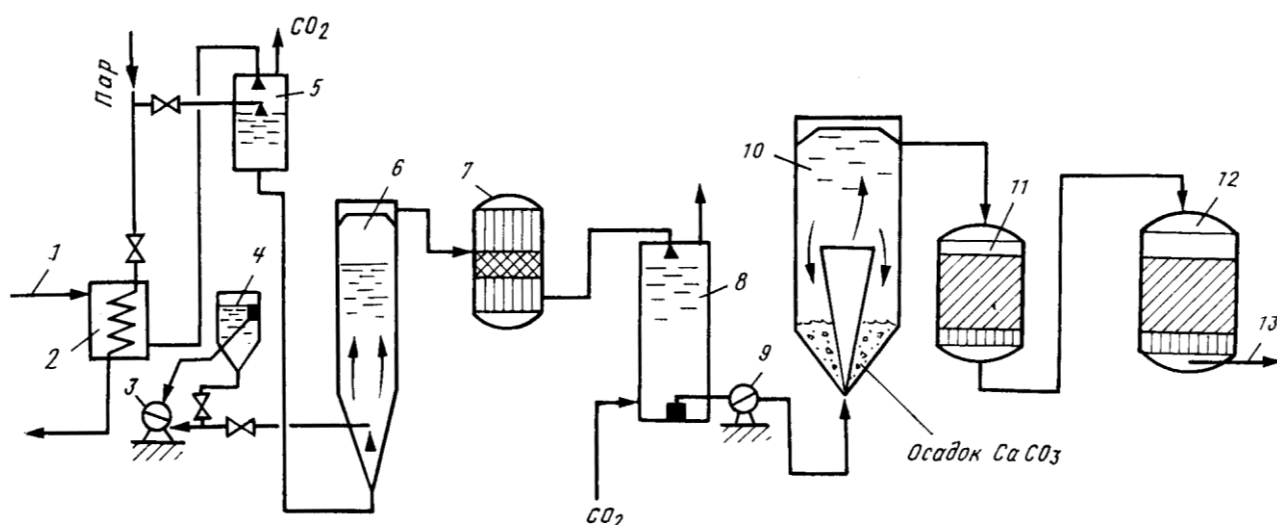


Рис. 4.23. Установка обескремнивания воды известью с подогревом:

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 *хлопья 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 магнезального сорбента следующая: смесь каустического магнезита с соляной кислотой или хлоридом магния, имеющую консистенцию теста, высушивают при температуре 80...100°C, измельчают и просеивают. Полученный магнезальный 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 SiO₂.

Недостаток метода заключается в необходимости через каждые шесть месяцев (при среднем содержании в исходной воде до 10 мг/л SiO₂) 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 (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_2^-). 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 емкости высокоосновных анионитов. Это вынуждает заменять их через каждые 1,5...2 года.

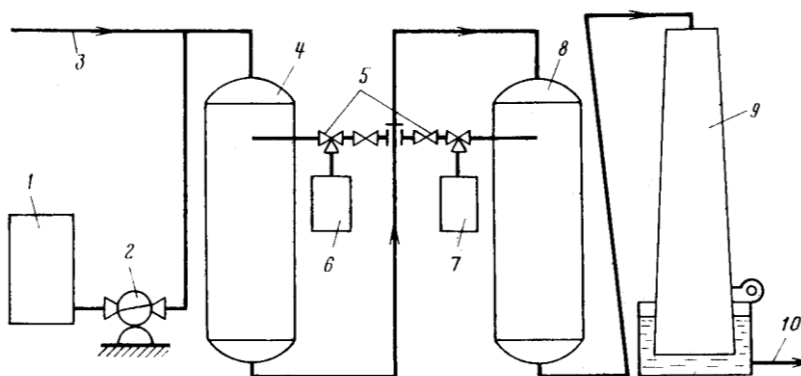
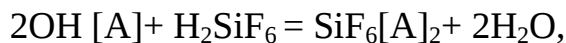
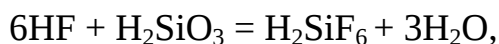


Рис. 4.24. Схема обескремнивания воды фторидным методом:

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. 4.24) 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.

4.4.5. Использование мембранных технологий для 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 «наночистки» – 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. 4.25).

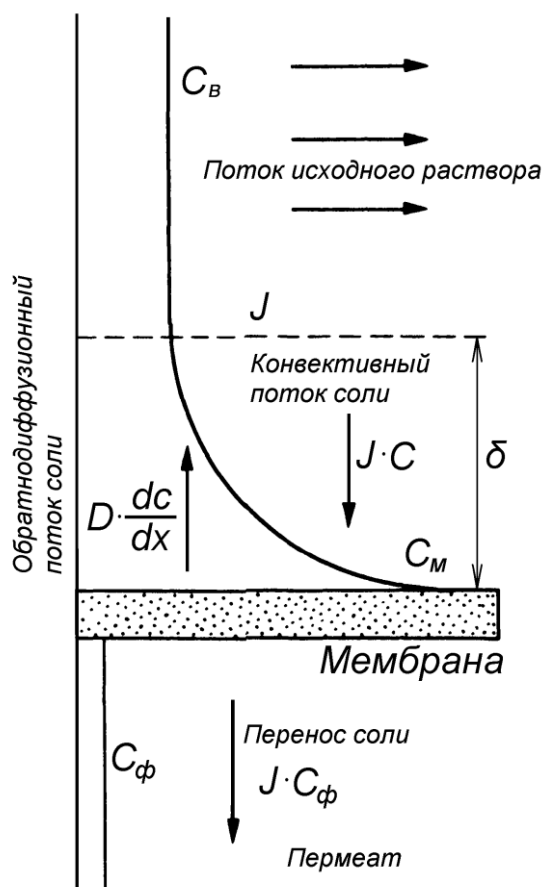


Рис. 4.25. Распределение задерживаемого мембраной вещества у поверхности мембраны.

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.

Сложные эфиры целлюлозы подвержены разложению (деструкции) под действием высокой температуры, а также от химического или биологического воздействия. Оптимальный диапазон значений pH для работы ацетатных мембран составляет 4-6,5. При высоких значениях pH (в щелочных условиях)

происходит гидролиз мембран. Кроме того, биологические отложения на ацетатных мембранах оказывают разрушающее действие.

Вследствие этого ацетатные мембраны в настоящее время имеют ограниченное применение и вытеснены другими полимерами, более стойкими в водной среде.

Ароматические полиамиды имеют преимущества в качестве мембранных материалов из-за высокой механической, химической, термической и гидролитической устойчивости, а также их свойств по проницаемости и селективности.

Различают два основных типа мембран: ассиметричные мембраны и композитные мембраны.

В основе процессов получения современных полимерных мембран, используемых в водоподготовке, лежат процессы, называемые инверсия фаз и нанесение покрытий.

Инверсия фаз (фазовое разделение) – это процесс, посредством которого полимер переводится из раствора в твердое состояние.

Большинство мембран, используемых в очистке воды, получают с помощью фазовой инверсии, методом осаждения, путем погружения.

Метод приготовления плоских мембран состоит в следующем: подложка, представляющая собой УФ или МФ мембрану, погружается в водный раствор, содержащий активные мономеры, как правило, аминного типа. Раствор полимера выливается на слой поддерживающей подложки. Толщина слоя контролируется поливочным ножом (фильерой). Вязкость раствора зависит от молекулярной массы полимера, его концентрации, вида применяемого растворителя или смеси растворителей, также наличия специальных добавок. Толщина отлитого слоя может меняться от 50 до 500 мкм.

Плотные ассиметричные мембраны не позволяют добиться высоких значений производительности. Толщина мембраны (20-2000 мкм) оказывает существенное гидравлическое сопротивление. Более того, при увеличении

величины рабочего давления асимметричные мембраны сжимаются, что приводит к снижению производительности.

Увеличение производительности таких мембран может быть достигнуто с помощью уменьшения эффективности толщины мембраны. Однако тонкая эффективная пленка (толщиной 0,1 – 1 мкм) не обладает механической прочностью. Поэтому разработаны «композитные» мембраны, представляющую собой тонкую селективную пленку (селективный слой), нанесенную на пористую подложку обычно из того же материала. Эти мембраны приготовлены с помощью метода инверсии фаз.

Для нанесения ультратонкого слоя используется метод межфазной полимеризации (поликонденсации).

Межфазная полимеризация – один из методов нанесения ультратонкого слоя на пористую подложку. Раствор полимера (полимер и растворитель) отливается на поддерживающий слой и погружается в коагуляционную ванну, содержащую нерастворитель. При этом возникает реакция полимеризации при участии двух несмешивающихся растворителей. Осаждение происходит благодаря обмену растворителя и нерастворителя. Подложка, представляющая собой ультрафильтрационную или микрофильтрационную мембрану, погружается в водный раствор, содержащий активный мономер, как правило, аминного типа.

Подложка затем погружается во вторичную ванну, содержащую не смешивающийся с водой растворитель, в котором растворен другой активный мономер, часто хлорангидрид. Эти два активных мономера (амин и хлорангидрид) реагируют с образованием плотного полимерного слоя. Для полноты проведения реакции и сшивания водорастворимых мономеров применяется обработка нагреванием.

В качестве нерастворителя часто используется вода. Важное значение имеет выбор пары растворитель/нерастворитель.

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. 4.26).

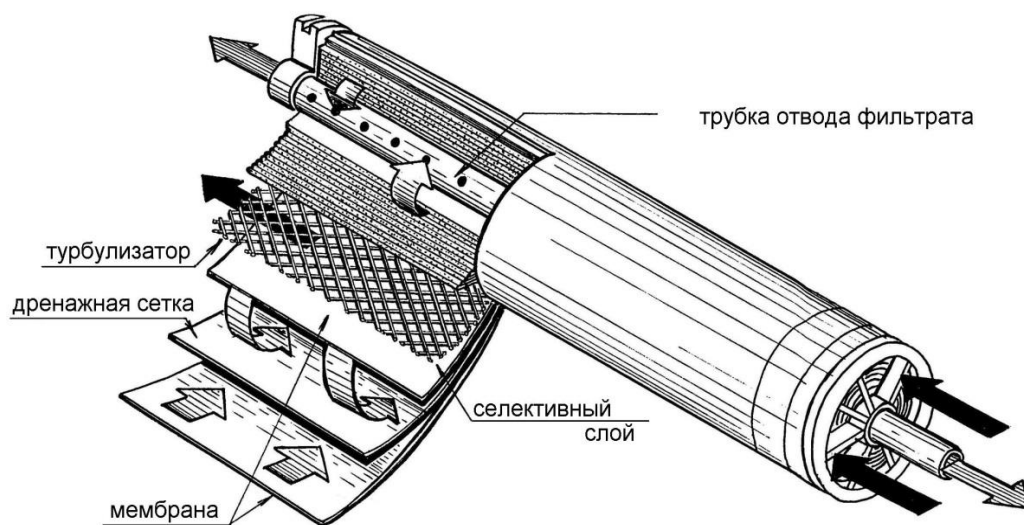


Рис. 4.26. Устройство рулонного фильтрующего элемента.

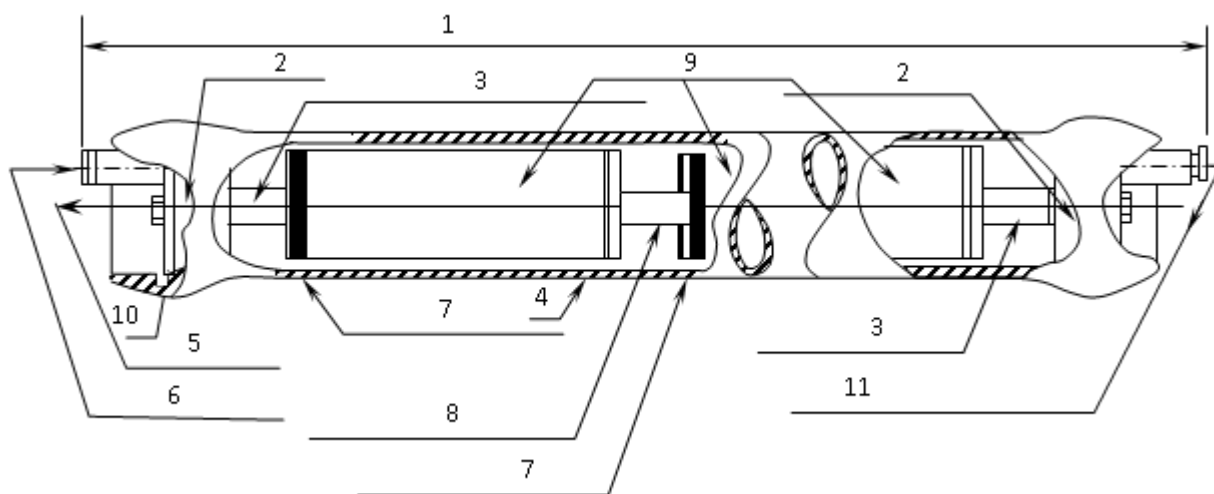


Рис. 4.27. Устройство мембранного аппарата: рулонный элемент, помещенный в корпус.

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. 4.27). 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 которой 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 компонуются 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. 4.28).

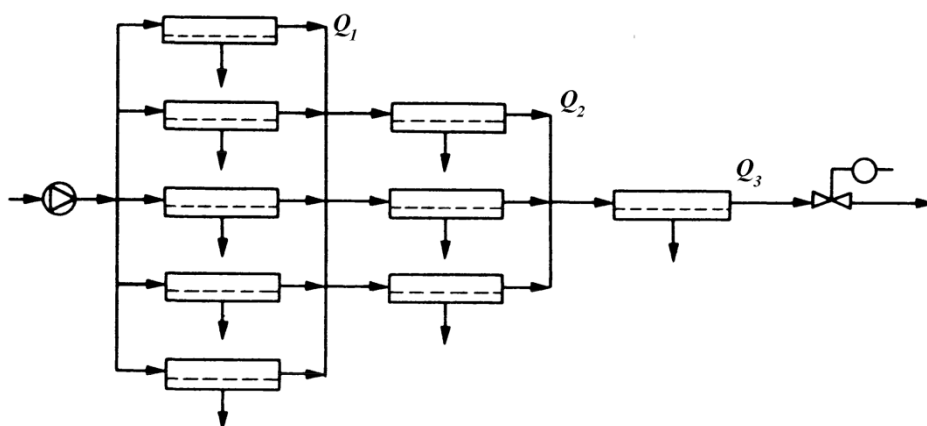


Рис. 4.28. Коническая каскадная односторонняя схема («елочка»).

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. 4.29).

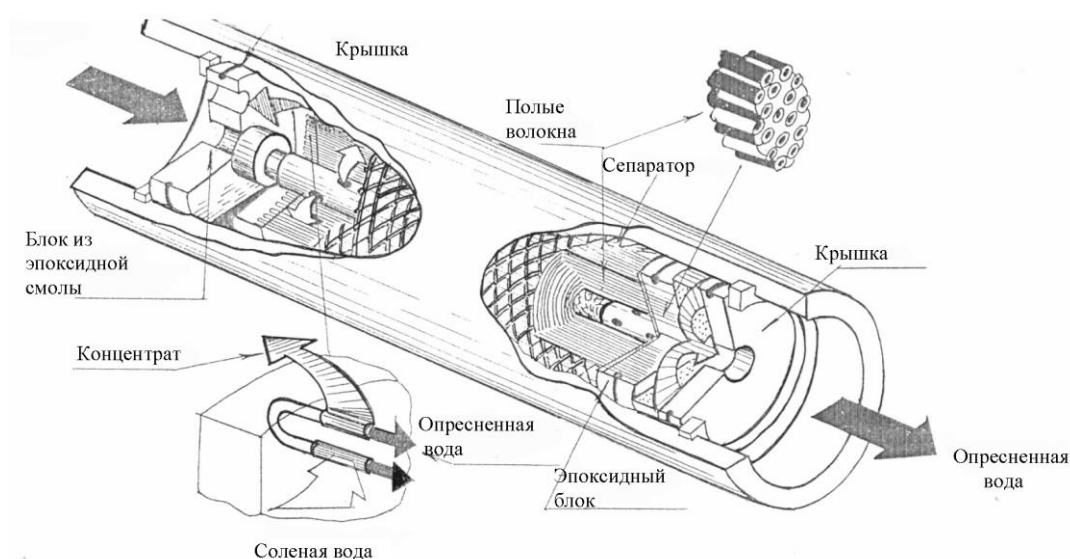


Рис. 4.29. Устройство аппарата с мембранами в виде полого волокна.

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

филтратоотводящего блока собирается в пористом филтратосборном блоке и через филтратоотводящую трубку выводится из аппарата.

Аппарат помещается в напорный трубчатый корпус, с торцов закрытый круглыми крышками с уплотнительными манжетами. Исходная вода, филтрат 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 ультрафилтрации 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).

Технологическая схема предварительной очистки состоит из ряда сооружений, через которые последовательно проходит исходная вода. Основные загрязнения и методы борьбы с ними представлены в таблице 4.4. Кроме того, существует ряд индексов и критериев, по которым оценивается качество исходной воды, поступающей на обратноосмотические установки.

Таблица 4.4

Основные методы предварительной обработки воды

№	Проблема	Методы предочистки (первая ступень)	Цели	Основные противопоказания по применению	Предочистка (вторая ступень)	Цели
1	2	3	4	5	6	7
1	Ca– карбонатные осадки	а) ионообменное умягчение	Замещает Ca на Na	Высокое солесодержание вызывает проскок. Макс.общее солесодержание – 800 мг/л, очень дорогостоящий метод для производительнос ти более 9000 м³/сут	Дозирование ингибитора	Предотвращает выпадение осадка при проскоке кальция
		б) известковое умягчение	Удаляет Ca в виде карбоната кальция и Mg в виде гидроокиси. Переводит карботан-ионы в бикарбонаты	Не целесообразно использование при производительнос ти ниже 5000 м³/сут	Дозирование ингибирующих веществ или кислоты	Предотвращает выпадение осадка CaCO ₃
		в) дозирование кислоты	Снижает скорость образования отложений	Сложности работы с кислотой и высокая стоимость	Ингибитор	Предохранитель ная мера на случай, если дозирование кислоты приостановлено
		г) дозирование ингибитора		Другие методы считаются более надежными		

2	Кристаллические осадки сульфата кальция	а) ионный обмен б) ингибитор	см. 1а см. 1г			
3	Силикатные осадки	а) повышение температуры б) известкование	Увеличивает растворимость Вызывает выпадение силикатов вместе с CaCO_3	Стоимость тепла Метод не применим для установок производительностью ниже 5000 $\text{м}^3/\text{сут}$		
4	Осадки гидроокиси железа	а) аэрация и фильтрование б) исключение влияния окислителей, например, воздуха или Cl_2 в) дозирование кислоты	Железо окисляется и задерживается в виде гидроокиси Стабилизирует растворенное железо в двухвалентной форме Стабилизирует железо в растворимой форме	Присутствие в воде других окисляемых материалов, например, H_2S Усложняет эксплуатацию Требуется поддержание значения pH на уровне 5	Дозирование кислоты Дозирование кислоты	Предотвращает дальнейшее выпадение Предотвращает образование осадка коагулянта
5	Коллоидные Осадки	а) коагулирование и фильтрование	Укрупняет частицы и облегчает фильтрование		Дозирование кислоты (при использовании некоторых видов коагулянтов)	Предотвращает вторичное образование осадков коагулянтов

		б) ионообменное умягчение	Стабилизирует раствор, предотвращая “высаливание” - коагуляцию коллоидов в концентрате установок вследствие концентрирования	Не применимо при обработке воды с высоким солесодержанием		
6	Бактериальное Загрязнение	Хлорирование и фильтрование	Убивает бактерии и задерживает их на фильтре		а) Дозирование дехлорирующих реагентов (мета- бисульфита натрия) б) Применение фильтров с загрузкой из активированного угля	Удаляет активный хлор
7	Сероводород	а) дегазация и хлорирование	Удаляет H ₂ S и окисляет его остатки до формы сульфата	При обработке вод с высоким содержанием жесткости требуется подкисление исходной воды для предотвращения карбонатных отложений в дегазаторе	См. 6а и 6б Требуется	дегазация пермеата

		б) исключение влияния окислителей, например, воздуха, Cl ₂	Стабилизирует сероводород в растворенном виде	Присутствие бактерий		
8	Хлор или другие сильные окислители	а) дозирование метабисульфита натрия б) фильтр с нагрузкой из активированного угля	Химически разрушает Cl ₂ Адсорбирует молекулы окислителя	Опасность для мембран при остановке дозирования Фильтр становится питательной средой для развития бактерий. Требуется периодические регенерации или замены	Вторичное дозирование	Предохранительная мера. Также поддерживает стерильность мембран

Уровень содержания в воде коллоидных и взвешенных веществ определяется индексом плотности осадка, называемому SDI (Silt Density Index). Индекс SDI определяется с помощью специального прибора. Значение индекса SDI определяется как отношение времени, за которое профильтруется 500 мл исходной воды через ячейку с микрофильтром с размером пор 0,45 микрона, и времени, за которое тоже количество воды профильтруется через ячейку через 15 минут постоянной работы ячейки при постоянном давлении 1 бар.

Необходимое значение SDI для воды, поступающей на установку обратного осмоса, устанавливается не более 3. Эксплуатировать системы при значении индекса SDI более 5 не допускается.

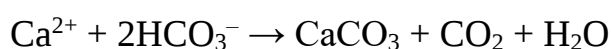
Индекс SDI не учитывает образование на мембранах осадков малорастворимых в воде солей, а также растворенных органических

соединений. Однако индекс SDI до сих пор остается, благодаря простоте, эффективной экспресс-методикой для контроля коллоидных загрязнений.

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.

Карбонат кальция – наиболее часто встречающийся в практике обратного осмоса тип осадка. Концентрация карбоната кальция, двуокиси углерода, кальций – иона и бикарбонат – иона связаны следующим уравнением:



Выпадение карбоната кальция происходит при превышении концентраций ионов кальция и бикарбонат-ионов, снижение концентрации двуокиси углерода, а также при увеличении значений pH.

Наиболее признанной вплоть до настоящего времени методикой оценки потенциальной возможности выпадения осадка карбоната кальция, в том числе и при обратноосмотическом опреснении воды, считается оценка по индексу Ланжелье. Если значение индекса Ланжелье концентрата положительное, то имеется опасность образования на мембранах осадка карбоната кальция.

Предотвращение образования карбоната кальция на мембранах включает следующие мероприятия:

1. Снижение содержания бикарбонат-иона с помощью дозирования кислоты в исходную воду.
2. Снижение концентраций кальций-иона с помощью умягчения исходной воды – ионообменного или реагентного.
3. Использование ингибирующих веществ, дозируемых в исходную воду и уменьшающих интенсивность образования осадка карбоната кальция.

Выбор методов предотвращения карбонатных отложений часто зависит от типа и материала мембран, а также определяется экономическими соображениями.

При расчетах величина щелочности сконцентрированной предварительно подкисленной воды принимается равной ее величине на входе в аппарат, помноженной на кратность концентрирования. В случае использования в установках ацетатных мембран, требуется поддерживать значение pH исходной воды на уровне 5,5-6 (чтобы снизить опасность гидролиза – разрушения структуры мембран в воде). Поэтому все установки с ацетатными мембранами используют подкисление исходной воды серной кислотой. Доза кислоты обычно составляет 50-150 мг/л.

Другой вид осадков малорастворимых в воде солей – сульфат кальция (гипс) представляет серьезную проблему при опреснении соленых вод с высоким содержанием сульфат – ионов. Основным требованием по предотвращению образования осадка сульфата кальция является непревышение пределов растворимости по сульфату кальция в концентрате установок.

Условия невыпадения осадка сульфата кальция – «степень насыщения» концентрата по сульфату кальция, соответствующая квадрату значения кратности концентрирования исходной воды в аппарате, определяется уравнением:

$$CH_{CaSO_4} = \frac{[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca^{2+}} \cdot [SO_4^{2-}] \cdot f_{SO_4^{2-}}}{PP_{CaSO_4}}, \quad (4.18)$$

где CH_{CaSO_4} – «степень насыщения»; $[Ca^{2+}]$ и $[SO_4^{2-}]$ – концентрации, соответствующие данной кратности концентрирования; $f_{Ca^{2+}}$, $f_{SO_4^{2-}}$ – коэффициент активности.

Для определения предельно допустимых концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в концентрате обратноосмотических установок используется методика, описанная выше.

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. 4.30 представлена схема обратноосмотической установки, содержащая оборудование для предотвращения осадкообразования на

мембранах (системы дозирования ингибиторов и моющий контур для растворения осадков).

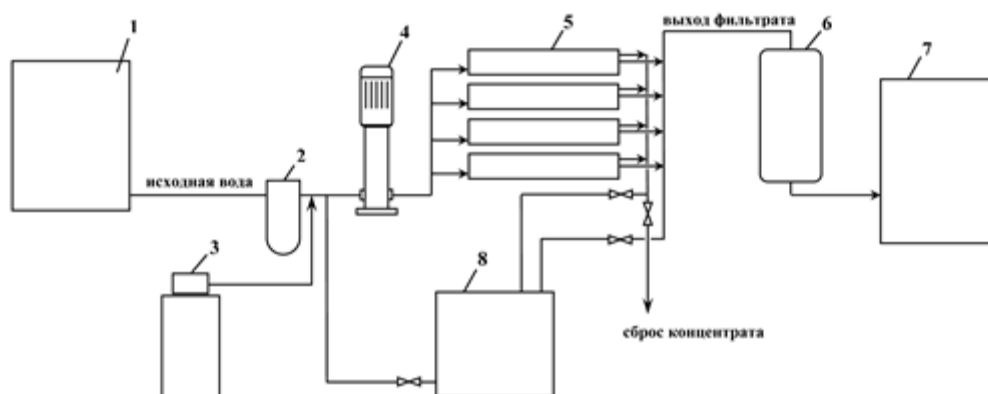


Рис. 4.30. Схема обратноосмотической установки для обессоливания воды:

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.

4.4.6. Очистка воды от синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ)

Синтетические ПАВ (детергенты) содержат 15...30% поверхностно-активных веществ, большое количество полифосфатов, отбеливающих и пахучих веществ. Попадая со сточными водами в водоемы, они вызывают вспенивание, ухудшают органолептические свойства воды, нарушают процессы обмена кислорода, токсически действуют на фауну. При этом так называемые «мягкие» детергенты (например, алкилсульфаты) относительно быстро окисляются и сохраняются в воде водоема недолго. «Жесткие» детергенты (например, изготовленные на базе широко распространенного детергента алкилбензолсульфоната натрия — АБС) лишь частично удаляются из сточных вод при их биохимической очистке, длительное время могут присутствовать в воде источников водоснабжения, придавая ей неприятные привкусы и запахи. ПАВ, попадая на очистные сооружения, оказывают тормозящее влияние на

процессы очистки. Эффект осаждения примесей воды, загрязненных ПАВ, уменьшается на 7...10%.

Очистка воды, загрязненной ПАВ, может производиться физико-химическими и биохимическими методами. Весьма эффективен метод коагуляции с применением в качестве коагулянта солей цинка. При использовании обычных коагулянтов содержание поверхностно-активных веществ уменьшается только на 20...30%. Совместное применение коагуляции и сорбции на активном угле обеспечивает почти полное изъятие ПАВ из воды.

Исследованиями, проведенными в АКХ им. К.Д. Памфилова, было установлено, что снижение концентрации сульфонола НП-3 с 4...6 до 0,5...0,7 мг/л, т. е. в среднем на 85%, и хлорного сульфонола с 5...5,5 до 1,5...2 мг/л, т. е. на 60...65%, может быть достигнуто при интенсивности аэрации воды в среднем 18...22 м³/(м²·ч) в течение 30...60 мин.

Во ВНИИ ВОДГЕО были проведены исследования по очистке воды от анионных ПАВ (сульфонолов) методами коагуляции, отстаивания, фильтрования через песок и сорбции на активных гранулированных углях. В результате проверки работы действующих водоочистных сооружений выявлено, что их защитное действие в отношении анионных ПАВ незначительно. Удаление из их воды происходит на 20...30% в основном за счет коагулирования. Увеличение дозы сернокислого алюминия от 50 до 100% по сравнению с применявшейся на обследованных комплексах для осветления и обесцвечивания воды на эффект удаления ПАВ заметного влияния не оказывало. Надлежащий эффект достигался сорбцией на активном угле.

При сорбции анионного ПАВ угли марок БАУ и АГ-5 мало отличаются по сорбционным показателям. Более высокую сорбционную емкость имеет уголь марки КАД-иодный, а уголь СКТ малоэффективен. Минимальная высота загрузки, при которой не наблюдается проскока сорбируемого вещества в фильтрат, — 0,6 м при исходной концентрации ПАВ 1...1,5 мг/л. Оптимальная скорость фильтрования при доочистке воды от ПАВ составляет 10...12 м/ч при

высоте слоя угля 2,5 м для напорных фильтров и 7...8 м/ч — для открытых фильтров при высоте слоя угля 1,8...2 м. Желательно применять уголь с крупностью зерен 1...2 мм.

Рекомендуемая технологическая схема глубокой очистки природной воды от ПАВ включает коагулирование серно-кислым алюминием с «*оптимальной*» дозой, необходимой для удаления частично ПАВ, отстаивание, фильтрование на песчаных фильтрах, сорбцию на угольных фильтрах. Результаты опытов по извлечению ПАВ сорбцией активным углем показывают, что на сорбционных фильтрах можно добиться снижения концентрации ПАВ в воде до 0,1 мг/л (при исходной концентрации 1,0...1,5 мг/л), т. е. до величины ниже ПДК.

Очистка воды от алкилбензолсульфонатов (АБС) может быть достигнута окислением озоном или диоксидом хлора, сорбцией активным углем или бентонитом, а также хлопьями гидроксида алюминия или железа. При введении в воду серно-кислого алюминия или хлорного железа (100...120 мг/л) и осветлении воды отстаиванием и фильтрованием содержание АБС снижается с 10 до 2...2,5 мг/л или с 3 до 0,5...0,6 мг/л. Процесс удаления АБС коагулированием нужно проводить при значениях pH 5. При повышении величин pH снижается эффективность данного процесса. Более глубокое удаление АБС достигается введением в воду порошкообразного активного угля или фильтрованием воды через слой гранулированного активного угля. При введении в воду 50 и 75 мг/л активного угля БАУ концентрации АБС снижались соответственно с 2 до 0,5 мг/л и с 6 до 0,32 мг/л. Фильтрование воды со скоростью 10 м/ч через 0,25-метровый слой гранулированного угля снижало концентрацию АБС в воде с 1,32 до 0,15 мг/л. Сорбционная емкость активного угля по АБС составляла около 7% массы угля.

В процессе фильтрования воды через угольную загрузку, предварительно профильтрованную через песок, происходит механическое загрязнение угля взвешенными веществами, что снижает производительность угольных фильтров. Для удаления загрязнений следует периодически производить

промывку загрузки с интенсивностью $8\ldots 10 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$, расширение слоя при этом достигается в $40\ldots 50\%$, необходимая продолжительность промывки $10\ldots 15$ мин.

Следует отметить, что в связи с загрязненностью водоисточников, особенно, органическими веществами неприродного происхождения угольные фильтры, включенные, как описано выше, в общую схему очистных сооружений, способны быть автоматически действующим барьером для проникновения в очищенную воду органических загрязнений. Поэтому заслуживает внимание все более широко применяемый метод замены верхнего слоя песка в осветлительных фильтрах гранулированным активным углем, который одновременно служит и для задержания взвеси из воды, прошедшей через отстойники, и для сорбции органических загрязнений. Уголь подвергают $1\ldots 2$ раза в сутки водяной или водовоздушной промывке и по мере необходимости (через $30\ldots 90$ дней) термической регенерации в специальных печах для восстановления сорбционной способности.

4.4.7. Удаление из воды пестицидов, гербицидов, ихтоцидов и других веществ

Пестициды — вещества, используемые в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями, попадают в воду открытых водоемов с дождевыми и талыми водами, смывающими ядохимикаты с растений и почвы. Даже незначительные концентрации пестицидов токсичны и придают воде неприятные привкусы и запахи. Так, воде придает запах тиофос при концентрации $0,2 \text{ мг}/\text{л}$, а ДДТ — при концентрации $0,07 \text{ мг}/\text{л}$.

Химические вещества, используемые в качестве пестицидов, принадлежат к различным классам органических соединений. В сельском хозяйстве наиболее широко используют в качестве пестицидов в борьбе с вредителями зерновых и овощных культур, плодовых деревьев, лесных насаждений фосфор- и хлорорганические соединения. В последнее время все более широкое применение

находят производные тио- и дитиокарбаминовой кислот. Для обеззараживания семян от возбудителей ряда болезней используют ртутьорганические соединения. Применяют также гетероциклические соединения с тремя гетероатомами в цикле (симазин), производные феноксиуксусной кислоты (2,4-Д и др.). Пестициды, попадающие в воду, не только ухудшают ее вкусовые качества, воздействуя на органолептические свойства воды прямо или косвенно, нарушая биологическое равновесие водоемов, но отрицательно влияют на ряд жизненно важных функций человеческого организма.

Для удаления большинства из применяющихся пестицидов схема осветления и обесцвечивания воды с использованием коагулянтов неэффективна, так как удаляются при этом только взвешенные вещества и коллоидные частицы хлорорганических пестицидов. Перспективными методами, которые могут быть положены в основу разработки технологических схем удаления пестицидов из воды, являются адсорбция на неполярных сорбентах, окисление и ионный обмен.

Хлор, перманганат калия и озон в дозах до 10 мг/л не окисляют ДДТ, гексахлоран, эндрин, дильдрин, тиофос, хлорофос и карбофос до нетоксичных соединений. Обычные методы обработки воды (коагуляция — отстаивание — фильтрование) снижают содержание в воде гексахлорана на 8... 10%, дильдрин — на 50, ДДТ — на 90, эльдрин — на 35, тиофоса — на 20%.

Активный порошкообразный уголь, введенный в воду перед отстойниками, снижает содержание в ней указанных выше пестицидов до безопасных пределов, однако, его расход достигает 10...15 мг на 1 мкг пестицида, содержащегося в обрабатываемой воде. Фильтрованием воды через слой активного гранулированного угля удастся снизить содержание пестицидов в воде до 0,1 мкг/л (их удаление составляет около 99%).

При введении в схему в качестве метода удаления пестицидов окисления в каждом отдельном случае наряду с определением эффективности процесса удаления из воды основного вещества следует знать природу промежуточных и

конечных продуктов, иметь санитарно-токсикологическую оценку, метода, так как при этом не исключено образование токсичных соединений. Так, небольшими дозами хлора (0,5 мг/л) достаточно легко разрушается хлорорганический пестицид альдрин, образуя более токсичное вещество дильдрин. Другие хлорпроизводные углеводороды либо совсем не взаимодействуют с хлором, либо регенерируют с ним очень слабо. Не разрушаются хлорорганические пестициды (кроме альдрина и гентахлора) и озоном в дозах, обычно применяемые в практике водоподготовки. Хорошо удаляются хлорорганические пестициды активированными углями. Пестициды 2,4-Д хорошо удаляются из воды на ионообменных фильтрах. Наиболее перспективными сорбентами для удаления 2,4-Д являются сильноосновные аниониты типа АВ-17.

Адсорбция из разбавленных водных растворов хорошо растворимых гидрофильных соединений, таких, как фосфорорганические препараты, требуют высоких доз угля. В то же время действие окислителей на фосфорорганические пестициды в большинстве случаев может обеспечить их разрушение в воде.

Для удаления соединений ртути из растворов широко используют ионообменные смолы — сильноокислотный катионит КУ-2 (обменная емкость 5,1 мг-экв/л) и сильноокислотный КБ-4П-2 (9 мг-экв/л).

4.4.8. Очистка воды от радиоактивных веществ

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

загрязнения воды в этом случае обычно невелика. Развитие ядерной энергетики и расширение области применения радиоактивных изотопов в различных отраслях промышленности, науки, техники, медицины сопряжено с вероятностью загрязнения природных вод радиоактивными отходами. Наиболее опасными для человека и животных являются изотопы: стронций-90, цезий-137, йод-131. Попадая в организм, они вызывают тяжелые заболевания. Активность радиоактивных отходов уменьшается только в результате естественного распада, что в случае изотопов, обладающих длительным периодом полураспада, связано с необходимостью осуществления контроля над радиоактивными отходами иногда в течение нескольких сотен лет. Радиоактивно загрязненные воды отличаются большим разнообразием содержащихся в них радиоактивных элементов. Каждый из этих элементов характеризуется двумя основными величинами: энергией радиоактивного излучения α , β и γ -лучей и периодом полураспада, т.е. промежутком времени, в течение которого распадается половина начального количества атомов. Предельно допустимые концентрации некоторых изотопов в воде открытых водоемов показаны в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Предельно допустимые концентрации некоторых изотопов в воде открытых водоемов

Изотоп	Предельно допустимые концентрации, кюри/л	Изотоп	Предельно допустимые концентрации, кюри/л
Na ²⁴	$8 \cdot 10^{-9}$	Ag ¹⁰⁵ , Nb ⁹⁵	$3 \cdot 10^{-8}$
P ³²	$5 \cdot 10^{-9}$	Ce ¹⁴⁴ , Ca ⁴⁵ , Sr ⁸⁹ , Ru ¹⁰⁵	$3 \cdot 10^{-9}$
Ba ¹⁴⁰ , Cl ³⁶	$7 \cdot 10^{-9}$	I ¹³¹	$6 \cdot 10^{-10}$
K ⁴²	$6 \cdot 10^{-9}$	Cs ¹³⁷	$1 \cdot 10^{-9}$
Cr ⁵¹	$5 \cdot 10^{-7}$	Hg ¹⁹⁷	$9 \cdot 10^{-8}$
Mn ⁵²	$9 \cdot 10^{-9}$	Pb ²¹⁰	$1 \cdot 10^{-11}$
Au ¹⁹⁸ , Pr ¹⁴³ , Cd ¹¹⁵ , Fe ⁵⁹	$1 \cdot 10^{-8}$	Po ²¹⁰	$2 \cdot 10^{-11}$
Co ⁶⁰ , Mo ⁹⁹ , Pm ¹⁴⁷ , Cu ⁶⁴	$6 \cdot 10^{-8}$	Ra ²²³	$2 \cdot 10^{-10}$

U^{235}, Sr^{90}	$3 \cdot 10^{-8}$	Pu^{239}	$5 \cdot 10^{-11}$
Nd^{147}, Sr^{95}	$2 \cdot 10^{-8}$	U^{238}	0,05 мг/л

Способы дезактивации воды подразделяют на *физико-химические* (дистилляция, осаждение, коагулирование, флотация, фильтрование, сорбция, ионообмен, экстрагирование, выпаривание), *электролитические* (электролиз, электродиализ, электроионизация), *биологические*, или *сочетание перечисленных способов*.

Дезактивация воды коагулированием, отстаиванием и фильтрованием обеспечивает снижение радиоактивности воды на 50...70%. Эффективность дезактивации воды значительно повышается применением больших доз реагентов, оптимизацией коагулянтов, добавлением к воде извести или соды. Многоступенчатое осаждение известью и содой является весьма эффективным средством удаления ^{90}Sr и ^{89}Sr (75...84%), ^{140}Ba , ^{140}La , ^{115}Cd при больших избытках реагентов.

Способ ионного обмена является наиболее эффективным методом очистки слабоактивных маломинерализованных вод, предварительно освобожденных от растворенных органических веществ. Особенно эффективно совместное Н-ОН-ионирование, но отсутствие селективных ионообменных материалов приводит к тому, что ионообмен может быть использован лишь для вод с небольшим содержанием солей. Высокая стоимость ионитов, сложность их регенерации, большое количество радиоактивных отходов усложняют процесс. Поэтому ионообмен рекомендуется применять на небольших передвижных и индивидуальных установках, а также в качестве заключительного этапа дезактивации воды как дополнение к выше рассмотренным методам. *Извлечение из воды радиоизотопов сорбентами* является одним из самых распространенных методов ее дезактивации. В качестве сорбентов используют *природные ионообменники* (глины, клиноптилолит, гидрослюда, почвы, бентонит и другие природные цеолиты и минералы); *искусственные неорганические сорбенты* (на основе труднорастворимых солей титана,

циркония, гетерополикислот, синтетические цеолиты, силикагель, порошки металлов); природные органические сорбенты (торф, гумусовые вещества, древесину, целлюлозу, активный уголь и т.п.). Дистилляция – один из наиболее надежных методов дезактивации воды, когда радиоактивные вещества не летучи. При наличии в воде летучих радиоактивных веществ их необходимо перед дистилляцией осадить или перевести в связанное состояние. Учитывая, что при дистилляции радиоактивность конденсата уменьшается по сравнению с исходной водой на четыре-пять порядков, сильно загрязненную воду перегоняют два раза. Из-за высокой стоимости и относительно низкой производительности дистилляторов этот метод применим преимущественно для очистки небольших количеств воды.

Для очистки воды от радионуклидов очень эффективны неорганические сорбенты (иониты). Полная обменная емкость неорганических сорбентов существенно ниже, чем у синтетических. Однако их доступность и низкая стоимость дает возможность применять их однократно на водоподготовительных станциях для очистки от радионуклидов.

В настоящее время создаются специальные синтетические неорганические иониты, высокоселективные к радионуклидам цезия и стронция. Такие иониты производятся с помощью модификации природного материала путем прививки к нему функциональных групп. Так, прививкой ферроцианидных групп к различным носителям (цеолиты, угольные волокна и т. п.) получают иониты, высокоселективные к радионуклидам ^{137}Cs . Для извлечения радионуклидов ^{90}Sr синтезированы сорбенты на основе фосфатов или гидроксидов титана и циркония, гидратированной двуокиси марганца и т. д. В настоящее время выпускаются сорбенты НЖА и НЖС на основе цеолитов, FM на основе угольных волокон, а также серия сорбентов «Термоксид» на основе оксидов и фосфатов циркония. Они обеспечивают очистку от 30000 до 150000 объемов воды на 1 объем сорбента от радионуклидов.

4.5. Стабильность воды

4.5.1. Виды и причины зарастания и коррозии трубопроводов.

Стабильность воды

При эксплуатации водопроводных труб и оборудования в ряде случаев на их стенках образуются различного рода отложения. В результате этого снижается их пропускная способность. Это связано, как правило, со свойствами транспортируемой по ним воды. Встречаются отложения сплошные, равномерно уменьшающие живое сечение трубы, и бугристые, возникающие в виде отдельных выступов на стенках труб и оборудования.

По видам и причинам, вызывающим отложения, их разделяют на донные, сплошные, бугристые отложения и биологические обрастания.

Донные отложения возникают в нижней части труб в большинстве случаев при транспортировке неочищенной воды, содержащей грубую взвесь. Они характерны для труб, по которым вода движется с небольшими скоростями. Донные отложения может вызвать гидроксид железа (III), который в периоды малого расхода воды отлагается в трубах, уплотняется и цементируется.

Сплошные отложения образуются при транспорте воды, пересыщенной карбонатом кальция (с положительным индексом насыщения). В этом случае отложения состоят в основном из карбоната кальция и прочно прикреплены к стенкам труб и оборудования; грубодисперсные взвеси цементируются карбонатом кальция. Отложения располагаются эксцентрично с утолщением в донной части трубы.

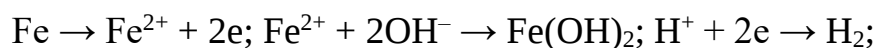
Бугристые отложения образуются в стальных и чугунных трубах в связи с коррозионным действием воды и представляют собой бугорки неправильной формы, иногда сливающиеся друг с другом на высоту 20...30 мм. Бугристые отложения отличаются прочностью и сильным сцеплением со стенками труб,

значительную роль в их образовании играют железобактерии, перерабатывающие оксид железа(II) в гидроксид железа (III).

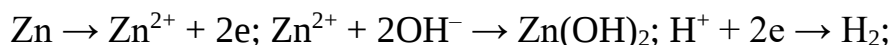
Коррозия труб и оборудования может вызываться разнообразными агрессивными средами, к которым относятся воздух, топочные газы, сернистые соединения, реагенты, употребляемые для обработки воды, продукты их разложения и др.

Агрессивное действие воды при очистке объясняется нарушением в ней карбонатного равновесия, поскольку при добавлении в воду 1 мг сульфата алюминия или хлорида железа (III) выделяется около 0,8 мг оксида углерода(IV) за счет разложения гидрокарбонатов. Вода при этом становится нестабильной, т. е. способной растворять защитные пленки на внутренней поверхности трубопроводов в результате появления в ней агрессивной угольной кислоты. При оголении поверхности трубопроводов усиливается электрохимическая коррозия, которой благоприятствует присутствие растворенного в воде кислорода и сероводорода. Вода обогащается продуктами коррозии, ухудшающими ее качественные показатели.

Из металлов больше всего разрушается железо, коррозия которого в зависимости от покрытия протекает следующим образом:



(коррозия черной стали);



(коррозия оцинкованного железа).

Для предохранения металлов от коррозии их покрывают коррозионно-стойкими металлами (цинком, оловом, никелем и др.), в воду добавляют ингибиторы (например, соли фосфорной кислоты), жидкое стекло, сильные окислители (хромат натрия, гексаметафосфат натрия), применяют протекторную защиту, наносят на их поверхности краски, эмали и другие защитные материалы.

Стабильность воды является одним из основных показателей ее качества. Обесцвеченную и осветленную на очистных сооружениях воду нельзя считать удовлетворительной по качеству, если она, проходя по трубам, приобретает окраску или образует осадок.

Нарушение стабильности воды может быть вызвано наличием растворенной угольной кислоты, сероводорода или кислорода, низким значением pH, пересыщенностью угольной кислоты или кислорода, пересыщенностью ее карбонатом кальция или гидроксидом магния, повышенной концентрацией сульфатов либо хлоридов.

В природных водах углекислота содержится в виде недиссоциированных молекул H_2CO_3 (обычно в очень малых концентрациях), молекулярно растворенного углекислого газа CO_2 , бикарбонатных ионов HCO_3^- , а при величине $\text{pH} > 8,4$ в виде карбонатных ионов (рис. 4.31).

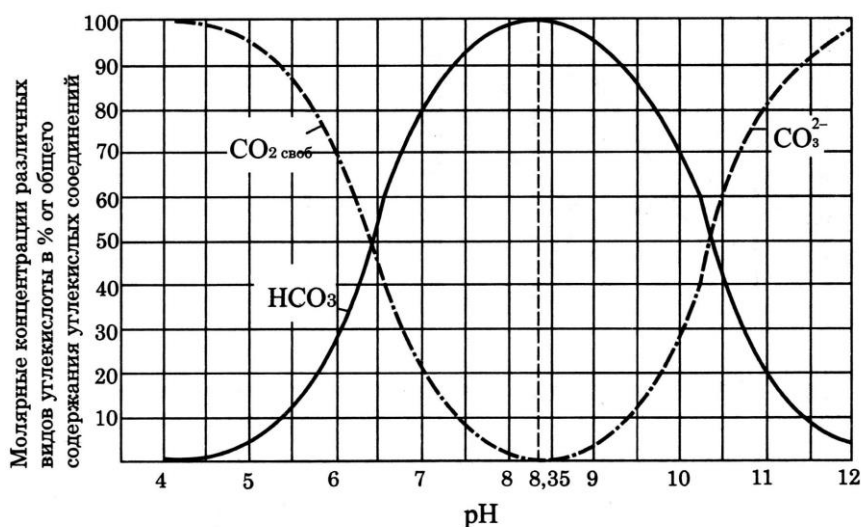
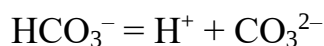


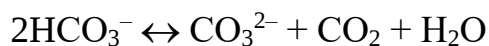
Рис. 4.31. График соотношений CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} в зависимости от pH воды.

Угольная кислота имеет две ступени диссоциации:



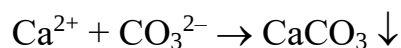
Из уравнений диссоциации угольной кислоты следует, что соотношения между ее соединениями в растворе CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} при данной температуре зависят от концентрации водородных ионов, т.е. от величины pH. При температуре 25° при значениях pH = 3,7-4,0 вся находящаяся в воде угольная кислота представлена только одним соединением CO_2 . По мере повышения значений pH доля CO_2 уменьшается при одновременном увеличении доли HCO_3^- . При значениях pH = 8,3-8,4 практически вся присутствующая в воде угольная кислота представлена бикарбонат-ионами HCO_3^- (более 98%), а на долю $\text{CO}_2 + \text{CO}_3^{2-}$ приходится менее 2%. При дальнейшем повышении значений pH воды (более 8,3-8,4) свободной углекислоты в воде уже нет, а доля карбонатных ионов CO_3^{2-} возрастает при одновременном уменьшении доли HCO_3^- . При величине pH = 12 вся углекислота представлена только одним соединением CO_3^{2-} .

В водных растворах существует динамическое равновесие между различными формами угольной кислоты:



Из этого уравнения следует, что для поддержания в растворе опресненной концентрации бикарбонатных ионов требуется, чтобы в растворе находилось соответствующее этой концентрации количество свободной углекислоты.

При недостатке количества углекислоты CO_2 возникает тенденция к распаду части бикарбонатных ионов, т.е. к сдвигу равновесия, описываемого уравнением, вправо с образованием дополнительного количества CO_2 и одновременно ионов CO_3^{2-} . Увеличение концентрации карбонатных ионов приводит к тому, что они будут реагировать с находящимися в воде ионами кальция, образуя карбонат кальция по реакции:



Воду, содержащую свободную углекислоту в концентрации, превышающей равновесную, называют агрессивной, поскольку она вызывает коррозию стальных трубопроводов. Вода, содержащая избыток карбонатных ионов, считается нестабильной по карбонату кальция, вызывая выделение карбонатных отложений из воды на теплопередающих поверхностях оборудования и трубопроводов.

Оценку термостабильности воды (степень насыщения воды по карбонату кальция) определяют расчетным путем по данным физико-химического состава. Для этого разработаны специальные критерии (индексы).

В настоящее время специалистами используются несколько индексов (Ланжелье, Ризнера, Сноинка-Джексона и др.). Каждому индексу соответствует модель состава стабильной воды, описывающая процесс образования карбонатных отложений. Наличие разных индексов говорит о сложности происходящих в природных водах процессов и невозможности создать «универсальную» модель.

Ланжелье предложил характеризовать условия стабильности воды с помощью индекса насыщения:

$$J = \text{pH} - \text{pH}_s, \quad (4.19)$$

где pH – значение pH воды; pH_s – величина pH , отвечающая равновесному состоянию в растворе углекислых соединений или «величина равновесного насыщения воды карбонатом кальция».

Величина pH_s определяется по следующей формуле:

$$\text{pH}_s = \text{pK}_2 - \text{pPP}_{\text{CaCO}_3} - \lg[\text{Ca}^{2+}] - \lg\text{Щ} + 2,5\sqrt{\mu} + 7,6 \quad (4.20)$$

Данная формула получена из уравнений I и II ступеней диссоциации угольной кислоты и уравнения произведения растворимости карбоната кальция:

$$f_{\text{Ca}}[\text{Ca}^{2+}] \cdot f_{\text{CO}_3}[\text{CO}_3^{2-}] = \text{ПР}_{\text{CaCO}_3} \quad (4.21)$$

$$\frac{f_{\text{H}}[\text{H}^+] \cdot f[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = K_1 \quad (4.22)$$

$$\frac{f_{\text{H}}[\text{H}^+] \cdot f_{\text{CO}_3}[\text{CO}_3^{2-}]}{f_{\text{HCO}_3}[\text{HCO}_3^-]} = K_2 \quad (4.23)$$

Логарифм коэффициентов активности f_i определяется по формуле Дебая-Гюккеля:

$$\lg f_i = -0,5 Z_i^2 \sqrt{\mu}, \quad (4.24)$$

где μ – ионная сила раствора, Z – валентности ионов

Ионная сила вычисляется по формуле:

$$\mu = 0,5(C_1 Z_1^2 + C_2 Z_2^2 + \dots + C_n Z_n^2), \quad (4.25)$$

где C_1, C_2, C_n – концентрации ионов, г-ион/л; Z_1, Z_2, Z_n – валентности тех же ионов.

Формулу для расчета величины pH_s представляют в удобном для расчетов виде:

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ) + f_4(P), \quad (4.26)$$

где: $f_1(t)$ – функция температуры воды, позволяющая определить значения термодинамических констант от температуры; $f_2(Ca^{2+})$ – функция концентрации иона кальция; $f_3(Щ)$ – функция концентрации щелочности; $f_4(P)$ – функция общего солесодержания воды.

Расчеты по последней формуле удобно проводить с помощью расчетного графика, показанного на рис. 4.32.

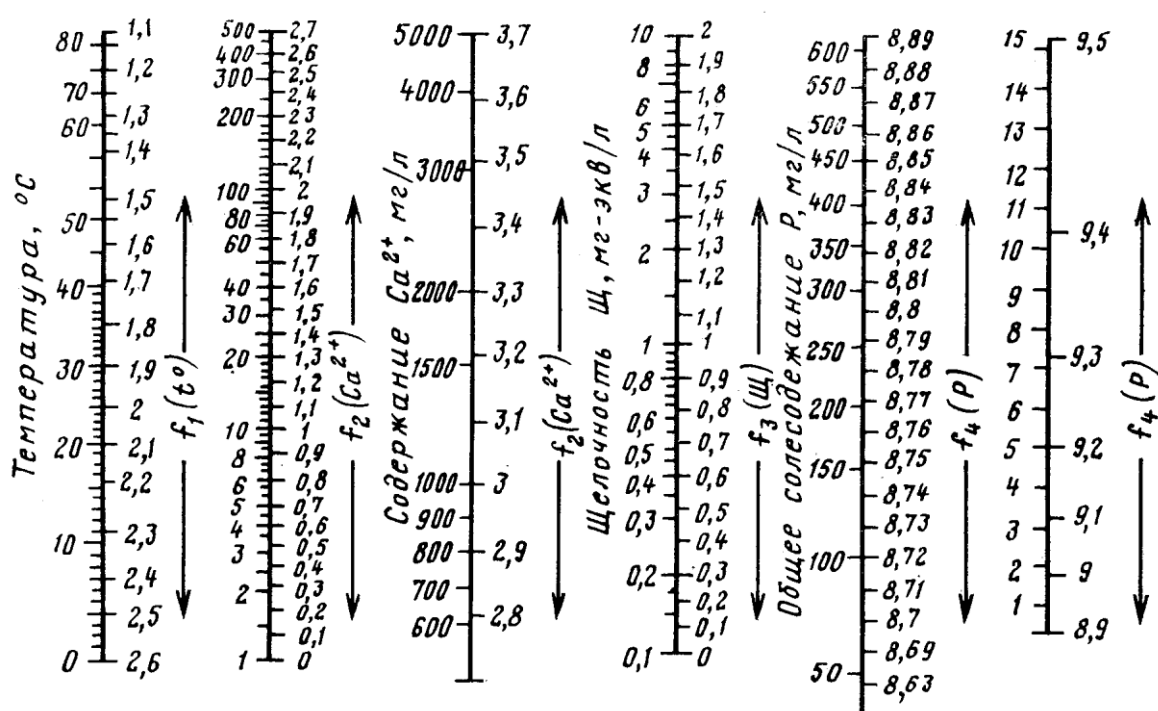


Рис. 4.32. Номограмма для нахождения pH_s .

Слева на каждой шкале отложены числовые значения показателей качества воды, справа – значения функций этих величин, которые подставляют в формулу.

Оценка стабильности воды, т.е. величины отклонения ее углекислотной системы от равновесного состояния производится путем сравнения измерений величины pH воды с вычисленным по формуле значением величины pH_s . Если

$pH < pH_s$, это указывает на то, что концентрация углекислоты в воде превышает равновесную. Такую воду называют агрессивной или коррозионной. Значение индекса Ланжелье J , соответствующее коррозионной воде – отрицательно. Считая, что коррозионная вода, растворяя карбонат кальция, исключает возможность образования на стенках стальных и чугунных труб защитной карбонатной пленки и способствует растворению коррозионных железистых отложений. При отсутствии карбонатной защитной пленки поверхность металла оказывается легко подвержена коррозии, особенно при наличии в воде растворенного кислорода.

При $pH > pH_s$ в воде не хватает свободной углекислоты по сравнению с ее равновесной концентрацией. Такую воду называют некоррозионной или неагрессивной. Значение индекса Ланжелье при $pH > pH_s$ отрицательно, при таком состоянии вода является пересыщенной по карбонату кальция и в ней существует опасность образования карбонатных отложений. Рекомендуемое значение индекса Ланжелье в системах обратного водоснабжения составляет от 0 до 1.

Индекс Ризнера дает несколько другие численные значения характеристик стабильной воды:

$$R = 2pH_s - pH, \quad (4.27)$$

Рекомендуемое значение R для стабильной воды должно находиться в пределах от 6 до 7.

Индекс Сноинка-Джексона (SN) также представляет собой разность между фактическим значением pH воды и гипотетической величиной H_{SN} , соответствующей состоянию насыщения по карбонату кальция.

Однако, в отличие от индекса Ланжелье, индекс SN учитывает недостающие при определении общей щелочности концентрации ионов CO_3^{2-} и OH^- из уравнения:

$$\text{Щ} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad (4.28)$$

Индекс Сноинка-Джексона определяется путем совместного решения уравнения второй степени диссоциации угольной кислоты, уравнения произведения растворимости, ионного произведения воды:

$$f_{\text{H}}[\text{H}^+]f_{\text{OH}}[\text{OH}] = K[\text{H}_2\text{O}] = K_{\text{IN}} \quad (4.29)$$

$$\text{H}_{\text{SN}}^+ = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{HCO}_3^-] \cdot \frac{K_2}{\text{ПР}_{\text{CaCO}_3}} \cdot \frac{f_{\text{Ca}^{2+}} \cdot f_{\text{HCO}_3^-} \cdot f_{\text{CO}_3^{2-}}}{f_{\text{H}^+}} \quad (4.30)$$

Из последней формулы получено уравнение для определения значения индекса Сноинка-Джексона:

$$\text{H}_{\text{SN}}^+ = [\text{Ca}^{2+}] \cdot \frac{K_2}{\text{ПР}_{\text{CaCO}_3}} \cdot \left(\text{Щ} - \frac{K_{\text{W}}}{f_{\text{H}}[\text{H}^+]} \right) \cdot \left(\frac{[\text{H}^+] \cdot f_{\text{H}}}{f_{\text{H}}[\text{H}^+] - K_2} \right) \cdot \frac{f_{\text{Ca}^{2+}} \cdot f_{\text{HCO}_3^-} \cdot f_{\text{CO}_3^{2-}}}{f_{\text{H}^+}} \quad (4.31)$$

Индекс Сноинка-Джексона при расчете pH_{SN} учитывает значение pH исходной воды, что дает более точные данные стабильности воды.

Описанные индексы имеют пределы применимости. Они отражают лишь те коррозионные свойства воды, которые зависят от наличия в воде агрессивной углекислоты. Они не применимы для определения агрессивности воды, контактирующей с пассивирующимися металлами, скорость коррозии которых уменьшается с повышением концентрации кислорода.

4.5.2. Стабилизационная обработка воды

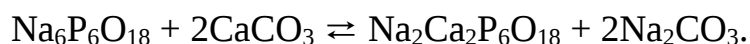
Для борьбы с коррозией стальных и чугунных труб в промышленном водоснабжении применяют ингибитор гексаметафосфат или триполифосфат натрия. Их действие проявляется в образовании защитных пленок на катодных и анодных участках поверхности металла и в торможении коррозионного процесса.

Доза гексаметафосфата или триполифосфата натрия, применяемых для обработки воды, используемой только в промышленном водоснабжении, принимается равной 2...4 мг/л. При вводе в эксплуатацию новых участков трубопроводов предусматривают заполнение их на 2...3 сут. раствором указанных реагентов с концентрацией 200...250 мг/л.

При стабилизационной обработке фосфатными реагентами воды, используемой для питьевых целей, остаточное содержание фосфат-ионов в соответствии с ГОСТ 2874-82 не должно превышать 3,5 мг/л.

При положительном индексе насыщения воду стабилизируют добавлением ингибиторов – гексаметафосфата, натрия, триполифосфата натрия, тринатрийфосфата.

Гексаметафосфат натрия ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) обладает поверхностно-активными свойствами и адсорбируется на поверхности зародышей кристаллов карбоната кальция в виде пленки гексаметафосфата кальция и натрия согласно уравнению



Изолируя зародыши, пленка препятствует росту микрокристаллов. Следовательно, действие реагента сводится к торможению роста кристаллов карбоната кальция, повышая их растворимость.

Стабилизационная обработка важна для предотвращения образования накипи в теплообменниках. В основе действия тринатрийфосфата ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) лежит перевод накипи в шлам. Реагент формирует в воде малорастворимый ортофосфат кальция, который, адсорбируясь на гранях

кристаллов карбоната кальция, вызывает изменение их формы и препятствует агломерации первичных агрегатов, в результате вместо накипи образуется рыхлый, легко удаляемый шлам.

Следует иметь в виду, что защитное действие фосфатов ограничивается карбонатной жесткостью воды 5,5-6,0 мг-экв/л, выше которой наблюдается рост кристаллов и выпадение карбоната кальция.

Для борьбы с процессами солеотложений и коррозии институтом ИРЕА (Москва) разработаны новые реагенты:

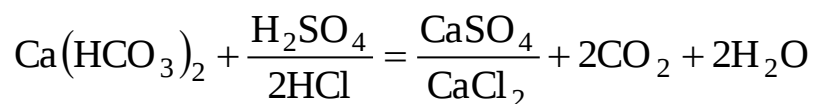
Таблица 4.6

Характеристики ингибиторов серии «Аминат»

		Аминат А	Аминат ОД
1	Назначение	Предотвращает отложение солей кальция, магния (карбонатов, сульфатов, фосфатов) в теплообменном оборудовании, в закрытых системах охлаждения и теплоснабжения.	Предотвращает отложение солей кальция, магния (карбонатов, сульфатов, фосфатов) в теплообменном оборудовании, в системах охлаждения, теплоснабжения и водоснабжения.
2	Состав	Представляет собой бесцветную или слабоокрашенную жидкость. Плотность реагента – около 1,2 г/см ³ , pH – в пределах 6-7.	Бесцветная или светло-желтая жидкость, представляет собой водный раствор натриевой и аммонийной солей оксиэтилидендифосфоновой кислоты. Плотность реагента около 1,2 г/см ³ .
3	Применение	Применяется для обработки подпиточной воды в системах охлаждения и закрытых системах теплоснабжения, обеспечивает практически полное предотвращение процессов накипеобразования и коррозии.	Предназначен для ингибирования отложений минеральных солей при низкой минерализации добавочной и циркулирующей воды.
4	Физические свойства	Реагент не горюч, пожаровзрывобезопасен, химически малоопасен (4 класс опасности по ГОСТ	Реагент не горюч, пожаровзрывобезопасен, химически мало опасен.

	12.1.007-76). Рабочие растворы реагента коррозионнонеактивны. Реагент загустевает при температуре не более (-4)°С. Замерзший препарат после оттаивания и перемешивания восстанавливает свои свойства.	
--	---	--

При положительном индексе насыщения воду стабилизируют подкислением серной или соляной кислотой, обработкой гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия:



При подкислении понижается содержание в воде гидрокарбонатов и увеличивается концентрация оксида углерода (IV), который, находясь в равновесном состоянии с гидрокарбонатами, препятствует образованию карбоната кальция и зарастанию трубопроводов.

Подкисляют воду технической серной или соляной кислотой. Серная кислота (ГОСТ 2184-87*) представляет собой бесцветную маслянистую жидкость, содержащую 75...92,5% H₂SO₄. Поставляется в стальных цистернах или стеклянных бутылках. Соляная кислота (ГОСТ 1382-89) – бесцветная дымящаяся жидкость, содержащая не менее 27,5% HCl, поставляется в гуммированных цистернах или стеклянных бутылках. Эти кислоты смешиваются с водой в любых соотношениях. Для подкисления воды применяют растворы кислот. Учитывая высокую коррозионную активность разбавленных серной и соляной кислот, для их приготовления, транспортирования и хранения следует применять кислотостойкое оборудование и аппаратуру.

Дозу кислоты, мг/л, в пересчете на товарный продукт находят по формуле

$$D_{\text{кис}} = \frac{\alpha e_{\text{кис}} \text{Щ}}{C_{\text{кис}}} 100, \quad (4.32)$$

где α – коэффициент, зависящий от рН среды (определяется по графикам рис. 4.33); Щ – щелочность воды до стабилизационной обработки, мг-экв/л; $e_{\text{кис}}$ – эквивалентная масса кислоты, мг/мг-экв (для серной кислоты $e_{\text{кис}} = 49$, для соляной – 36,5); $C_{\text{кис}}$ – содержание активной кислоты в товарном продукте, %.

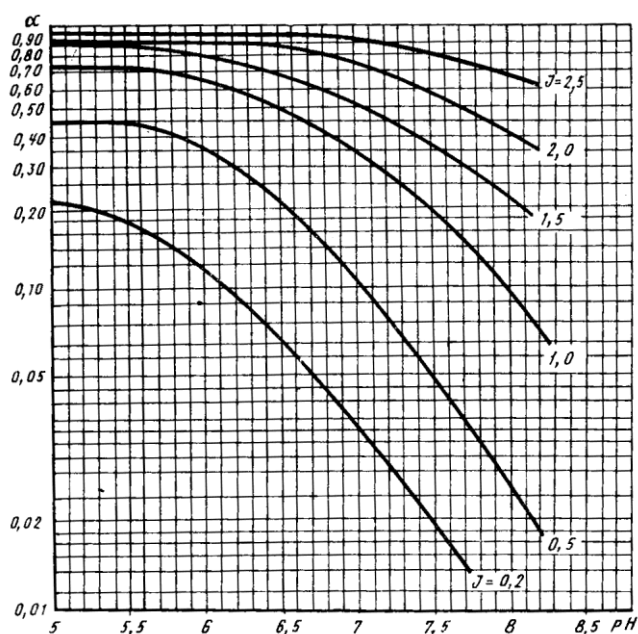


Рис. 4.33. Графики $\alpha = f(\text{pH})$

Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности заключается в ее подщелачивании, фильтровании через мраморную крошку или магномассу, или удалении оксида углерода (IV) аэрированием. При этом предусматривается также создание условий для образования защитной карбонатной пленки на внутренней поверхности труб.

Методы стабилизационной обработки воды, применяемые в водоподготовке, представлены в таблице 4.7. Выбор последних в большей мере зависит от величины и знака индекса насыщения обрабатываемой воды.

Таблица 4.7

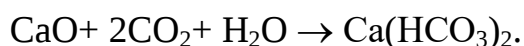
Методы стабилизационной обработки воды

Методы обработки	Уравнения реакции	Область применения	Сущность
Реагентный с добавлением: - извести, - едкого натрия, - соды	$\text{CaO} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{NaOH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaHCO}_3$ $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3$	Na_2CO_3 применяется чаще, как дополнительный реагент к первым двум (реже – самостоятельно)	При добавлении щелочного реагента происходит связывание агрессивной CO_2 с образованием бикарбонатов
Фильтрационный с использованием - мраморной крошки, - магномассы (полуобожженный доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$, обожженный магнезит MgO)	$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $2\text{CO}_2 + \text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Ж}_k < 2,3\text{--}3$ мг-экв/л $\text{Fe} < 0,3$ мг/л $t > 3^\circ\text{C}$ и при $t < 3^\circ\text{C}$ не более 5 мес/год	При фильтровании воды через загрузку из мраморной крошки или магномассы агрессивная CO_2 , связывается с образованием в большей степени бикарбонатов Mg и в меньшей Ca
Аэрация		Этот метод применяется в сочетании с умягчением, обессоливанием и обезжелезиванием воды	Удаление агрессивной CO_2 происходит за счет ее отдувки при пропуске воды через загрузку градирен (дегазатора)
Реагентный с добавлением: - соляной или серной кислоты - фосфатных реагентов (гексаметафосфат, триполифосфат)	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \frac{\text{H}_2\text{SO}_4}{2\text{HCl}} = \frac{\text{CaSO}_4}{\text{CaCl}_2} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18} + 2\text{CaCO}_3 \Delta \text{Na}_2\text{Ca}_2\text{P}_6\text{O}_{18} + 2\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{Ж}_k < 5,5\text{--}6,0$ мг-экв/л	При добавлении кислоты происходит снижение в воде гидрокарбоната и освобождение части CO_2 . Гексаметафосфат адсорбируется на поверхности кристаллов CaCO_3 в виде пленки, препятствующей росту

			микрокристаллов CaCO_3. Полифосфат натрия приводит накипь в рыхлый, легко удаляемый шлам путем изменений в форме кристалла.
Наложение магнитного поля и акустическая обработка		В промводоснабжении для обработки охлаждающей воды	

В качестве подщелачивающих реагентов используют едкий натр, известь или соду. Соду применяют только в том случае, если в воде содержатся ионы кальция в количестве, достаточном для образования защитной пленки карбоната кальция. Щелочные реагенты следует подавать в очищенную воду перед вторичным хлорированием и поступлением ее в резервуары чистой воды, в связи с чем необходимо обеспечить хорошее осветление растворов реагентов. Допускается введение щелочных реагентов до отстойников или фильтров, если это не ухудшает технологического процесса очистки воды и не снижает эффективности ее стабилизационной обработки.

Указанные реагенты, применяемые для стабилизации воды, связывают оксид углерода (IV) по реакциям



Расчет требуемой дозы подщелачивающего реагента, для каждого конкретного случая производится по следующим формулам.

а) 1 этап реагентной обработки: формирование защитной карбонатной пленки ($J = +0,7$).

Характеристика воды:

$$J < 0, \text{pH} < 8,4, \text{pH}_s < 7,7$$

$$D_{\text{щ}} = m_1[\text{CO}_2]_{\text{св.о}} \frac{100e}{p}, \text{ мг/л} \quad (4.33)$$

$$J < 0, \text{pH} < 8,4, \text{pH}_s > 7,7$$

$$D_{\text{из}} = (m_2[CO_2]_{\text{св.о}} + m_3[Щ_о + m_2[CO_2]_{\text{св.о}}) \frac{100e}{p}, \text{ мг/л}, \quad (4.34)$$

где $m_1 = f\left(\frac{[CO_2]_{\text{св.о}}}{Щ_о}, J\right)$, $m_2 = f\left(\frac{[CO_2]_{\text{св.о}}}{Щ_о}, pH\right)$, $m_3 = f(pH_s)$ – коэффициенты, принимаемые по графиками на рис. 4.34, $[CO_2]_{\text{св.о}}$ – концентрация свободной углекислоты в исходной воде, мг/л; $Щ_о$ – щелочность исходной воды, мг-экв/л; p – содержание активного вещества в техническом продукте, %; e – эквивалентный вес щелочи, равный для NaOH – 40 мг/мг-экв, по CaO – 28 мг/мг-экв.

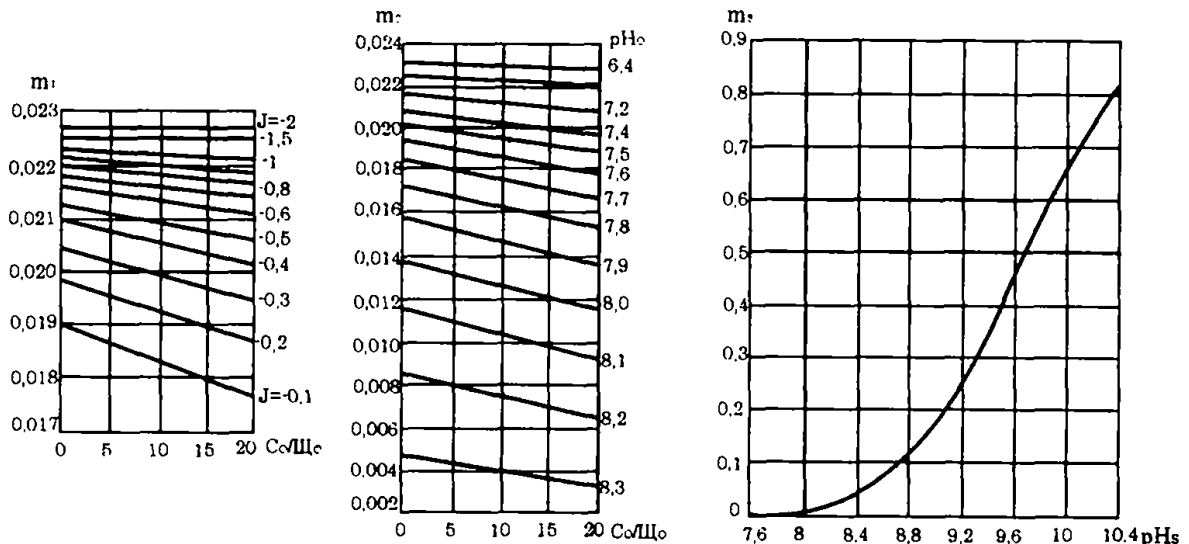


Рис. 4.34. Графики для определения коэффициентов m_1 , m_2 , m_3 .

б) 2 этап реагентной обработки: сохранение защитной пленки ($J \sim 0$).

Характеристика воды

$J < 0$, $pH < pH_s < 8,4$

$$D_{\text{из}} = e\beta Щ_о \frac{100}{p}, \text{ мг/л} \quad (4.35)$$

$$J < 0, \text{pH} < 8,4, \text{pH}_s > 8,4$$

$$D_{\text{из}} = e(\chi + \xi + \chi\xi) \Pi_o \frac{100}{p}, \text{ мг/л} \quad (4.36)$$

где $\beta = f(\text{pH}, J)$, $\xi = f(\text{pH}_s)$, $\chi = f(\text{pH})$ – коэффициенты, принимаемые по графикам на рис. 4.35 и 4.36.

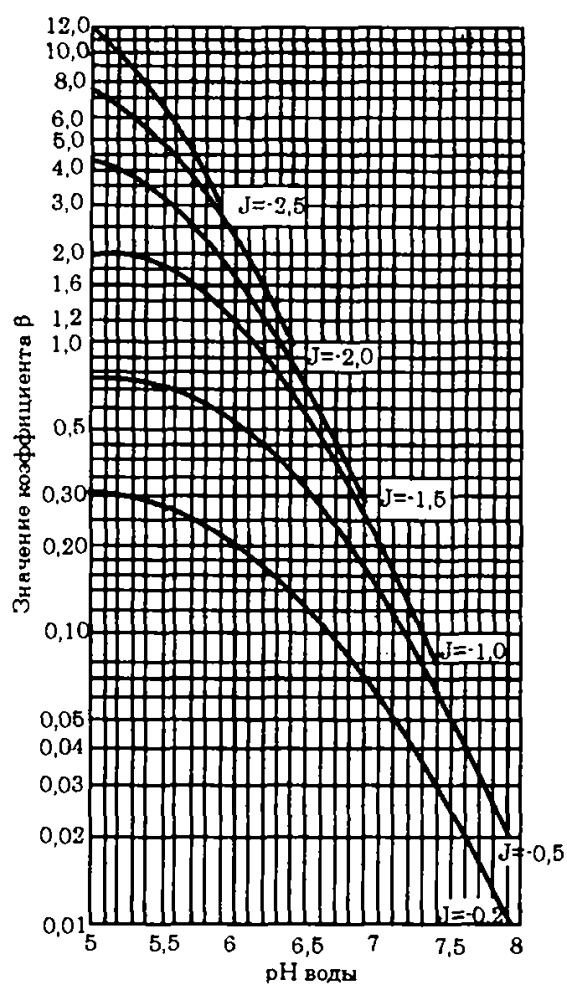


Рис. 4.35. График для определения коэффициента β при стабилизационной обработке йоды подщелачиванием (при $\text{pH}_o < \text{pH}_s < 8,4$)

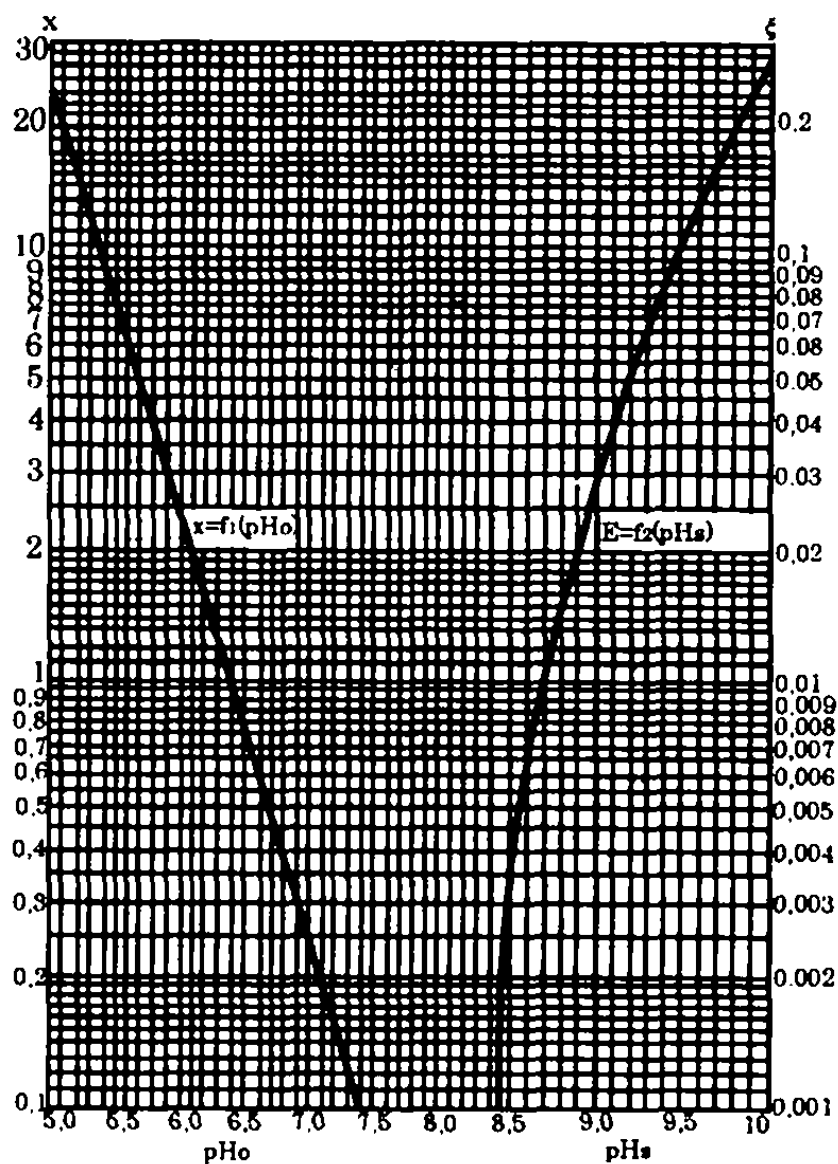


Рис. 4.36. График для определения коэффициента χ и ξ при стабилизационной обработке воды подщелачиванием (при $pH_o < 8,4 < pH_s$)

в) Для вод, имеющих низкую щелочность

$$D_{щ.дон} = k \left[\frac{[CO_2]_{св.о}}{22} + Щ_o \right], \text{ мг/л} \quad (4.37)$$

если $D_{щ.дон} < D_{щ}$, то $D_{соды} = D_{щ} - D_{щ.дон}$

где k – коэффициент, учитывающий резерв бикарбонатной щелочности – 0,7-0,8. Если допустимая доза реагента меньше требуемой, обработку необходимо производить двумя реагентами: известь (едкий натр) – сода.

Стабилизацию воды, содержащей оксид углерода (IV), производят фильтрованием ее в открытых безнапорных фильтрах через мраморную крошку (CaCO_3), полуобожженный доломит-магномассу $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$ или обожженный магнезит MgO . Фильтры загружают крошкой перечисленных выше материалов с размером частиц 0,5...3 мм, высоту слоя принимают равной до 2 м, скорость фильтрования воды через мраморную крошку – до 10, через магномассу – 10...20 м/ч; она зависит от температуры и щелочности воды, а также от концентрации в ней агрессивного оксида углерода (IV). Промывают фильтрующий слой восходящим потоком воды с интенсивностью 15 л/(с·м²) в течение 10...15 мин; при водовоздушной промывке интенсивность подачи воздуха – 20...25 л/(с·м²) в течение 5 мин. с последующей промывкой водой с интенсивностью 3...4 л/(с·м²) в течение 2...3 мин. Содержание железа в поступающей на фильтры воде не должно превышать 0,5 мг/л. Большие концентрации железа приводят к цементированию зерен фильтрующей загрузки. Фильтры периодически догружают зернистым активным материалом, пополняя его расход на стабилизационную обработку воды; для связывания 1 мг агрессивного оксида углерода (IV) расходуется 2,3 мг мрамора или 1,1 мг магномассы.

Более детальные параметры расчета фильтров, загруженных мраморной крошкой и магномассой соответственно, применяемых преимущественно в безнапорном варианте, приведены в таблицах 4.8 и 4.9.

Таблица 4.8

Технологические параметры для расчета фильтров с загрузкой из мраморной крошки

Показатель	Параметр	
Материал	мраморная крошка без примесей окислов железа	
Крупность зерен, мм	1-2	
Высота слоя, м	до 2,0	
Продолжительность контакта воды с загрузкой, ч, при содержании в воде [CO ₂] _{агр} , мг/л		
до 5	0,6	
10	0,7	
20	0,9	
30	1,7	
40	3,2	
50	4,5	
Скорость фильтрования, м/ч	до 10,0	определяются необходимой продолжительностью контакта при снижении [CO ₂] _{агр} до 1-4 мг/л
Высота слоя загрузки, м	до 2,0	
Расход фильтрующего материала, г, на 1 г связываемой [CO ₂] _{агр}	2,7-3,0	
Повышение Ж _к на 1 мг/л связываемой углекислоты, мг-экв/л	0,046	

Таблица 4.9

Технологические параметры для расчета фильтров с загрузкой из магномассы

Показатель	Параметры
Фильтрующая загрузка:	

материал	магномасса
крупность зерен, мм	1-3
объемный (насыпной) вес, кг/м ³	1000-1100
химический состав, %	
MgO	> 22
CaCO ₃	> 65
(SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ и т.д.)	< 8
высота слоя, м	1,2-2,2
Скорость фильтрования, м/ч	по рис. 4.37, в случае 15-20 % отклонения от заданных условий, но не более 50
Промывка водная	
интенсивность, л/с·м ²	15
продолжительность, мин	10-15
Показатель	Параметры
Промывка водо-воздушная	
1 этап водой с интенсивностью, л/с·м ²	16-8
продолжительность, мин	1-2
2 этап вода и воздух с интенсивностью, л/с·м ²	3-4
продолжительность, мин	5-6
интенсивность, л/с·м ²	20-25
продолжительность, мин	5
Повышение жесткости карбонатной на 1 мг св. углекислоты, мг-экв	0,027-0,03

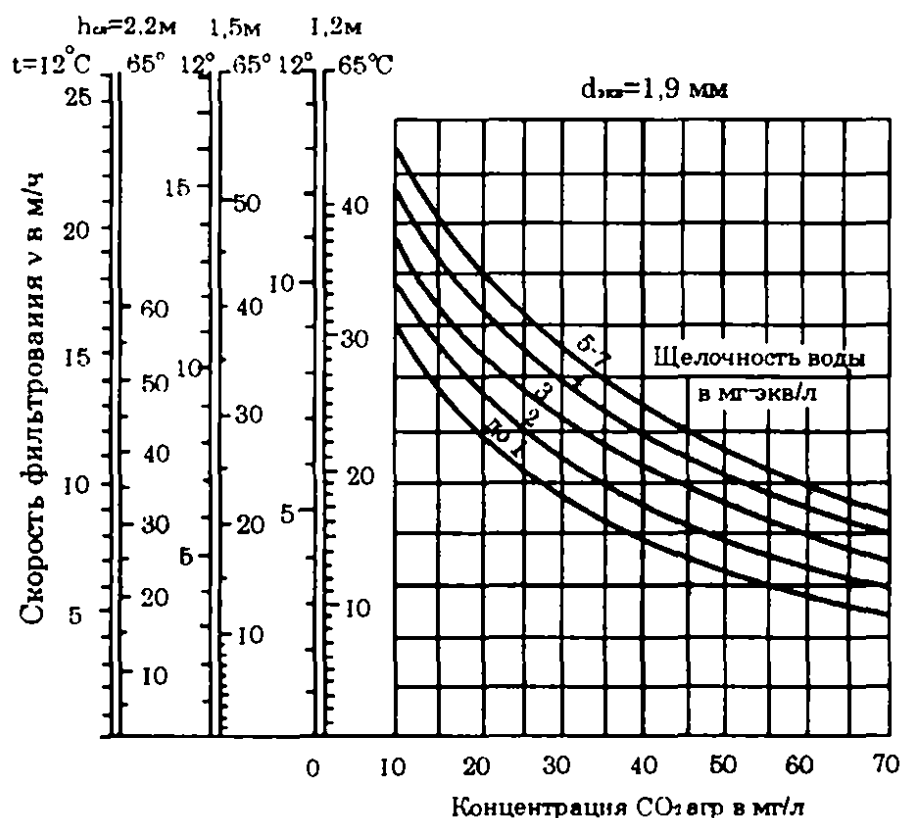


Рис. 4.37. График для определения скорости фильтрования воды через магномассу крупностью 1-3 мм

Стабилизация воды на малых водоочистных установках при отрицательном индексе насыщения может быть достигнута удалением из нее избыточного оксида углерода (IV). С этой целью воду пропускают через вакуумно-эжекционный аппарат или вентиляторную градирню с кольцевой пластмассовой насадкой или насадкой из колец Рашига. Нагрузка на градирню в первом случае составляет 70, во втором – 60 $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, расход воздуха принимают равным 20 $\text{м}^3/\text{м}^3$ воды. Значение pH воды после градирни определяют по номограмме (см. рис. 4.32), принимая остаточное содержание CO_2 в воде равным 8...10 мг/л (до 3-5 мг/л) и щелочность воды равной исходной.

Для борьбы с коррозией труб рекомендуется магнитная обработка воды. Предполагают, что под действием магнитного поля растворенный в воде кислород активизируется и образует с железом ферромагнитные оксиды,

предохраняющие поверхность металла от агрессивных сред. Концентрация кислорода в воде при этом уменьшается.

Применяют магнитные установки чаще всего в системах оборотного водоснабжения. На рис. 4.38 показана схема циркуляционной системы водяного охлаждения турбогенератора с установкой магнитного аппарата.

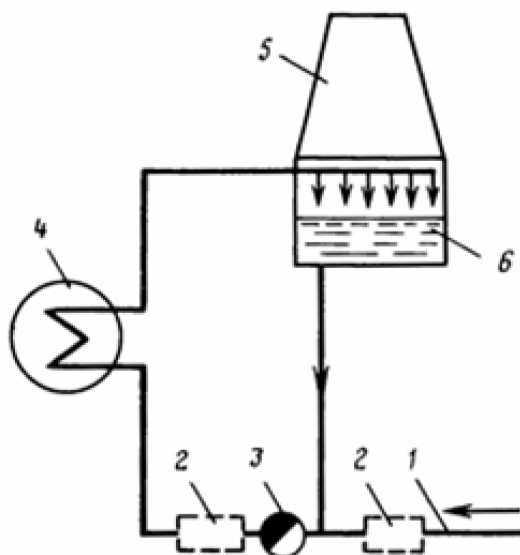


Рис. 4.38. Система водяного охлаждения турбогенератора с магнитными аппаратами:
1 – вода на подпитку системы; 2 – вероятное место установки магнитного аппарата; 3 – циркуляционный насос; 4 – конденсатор турбогенератора; 5 – градирня; 6 – резервуар охлажденной воды

При наложении магнитного поля в массе воды формируются центры кристаллизации, вследствие чего выделение накипеобразователей происходит не на теплопередающей поверхности нагрева или охлаждения, а в объеме воды с образованием вместо твердой накипи мигрирующего тонкодисперсного шлама, легко удаляемого с поверхности теплообменников и трубопроводов. Вода в магнитных аппаратах должна двигаться перпендикулярно магнитным силовым линиям.

Существует метод обработки охлаждающей воды акустическим полем. Для этой цели применяют генераторы с ультразвуковой частотой (10...120 кГц колебаний). Механизм действия акустического поля заключается в создании

кавитации, которая способствует, с одной стороны, нарушению процесса кристаллизации, а с другой – разрушению ультразвуковыми волнами уже образовавшихся отложений на поверхностях нагрева. Обычно акустические аппараты состоят из импульсного генератора, источника ультразвуковых колебаний и преобразователя, который крепится к объекту и преобразует акустические колебания генератора в механические. К достоинствам акустических аппаратов следует отнести компактность и малую потребляемую мощность.

Для получения ультразвуковых колебаний используют разнообразные устройства, которые можно классифицировать на две основные группы: *механические*, в которых источником ультразвука является механическая энергия потока жидкости (газа), и *электромеханические* в которых ультразвуковая энергия получается преобразованием электрической.

РАЗДЕЛ 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДООЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

5.1. Обработка промывных вод фильтровальных сооружений

5.1.1. 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.

5.1.2. 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.

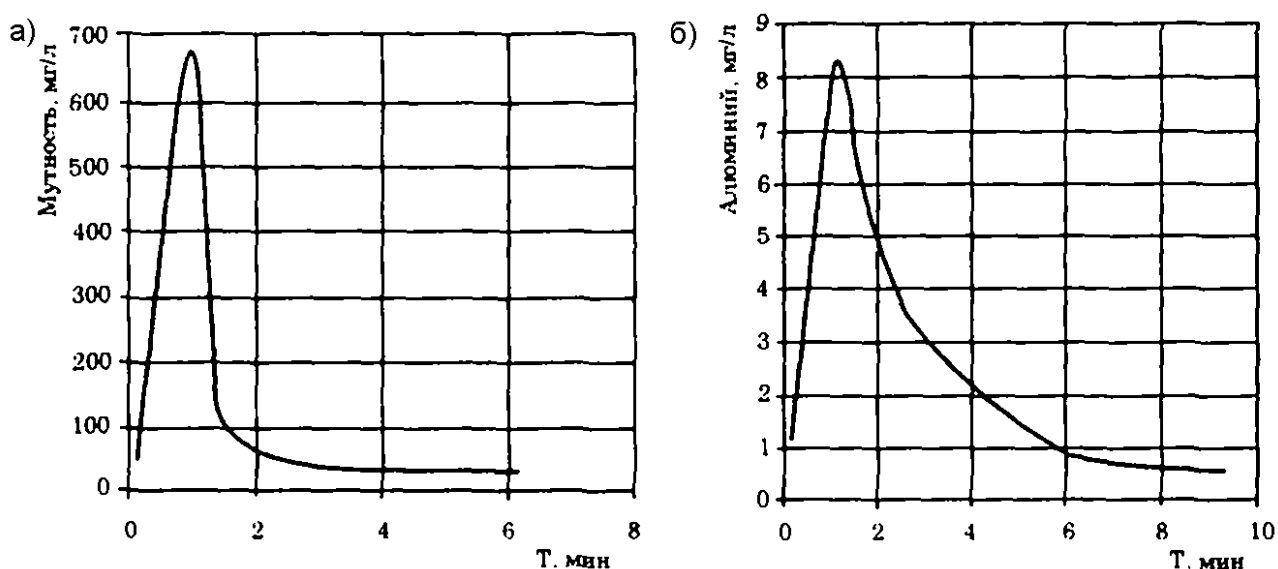


Рис. 5.1. Зависимость а) мутности; б) содержания Al^{3+} в промывной воде скорых фильтров от продолжительности промывки.

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. 5.1. 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.

5.1.3. 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. 5.2).

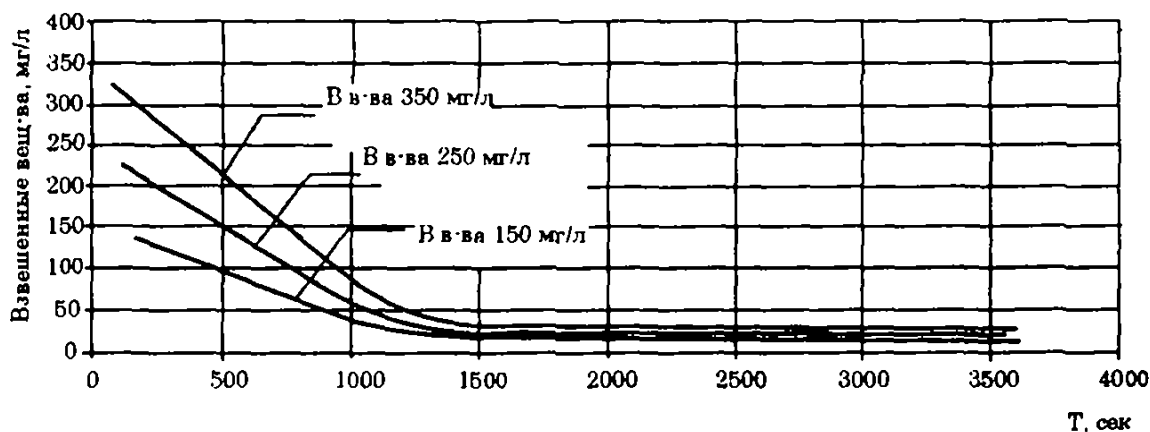


Рис. 5.2. Зависимость содержания взвешенных веществ в промывной воде от времени отстаивания в условиях обработки исходной воды сернокислым алюминием и ПАА.

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.

5.1.4. 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.

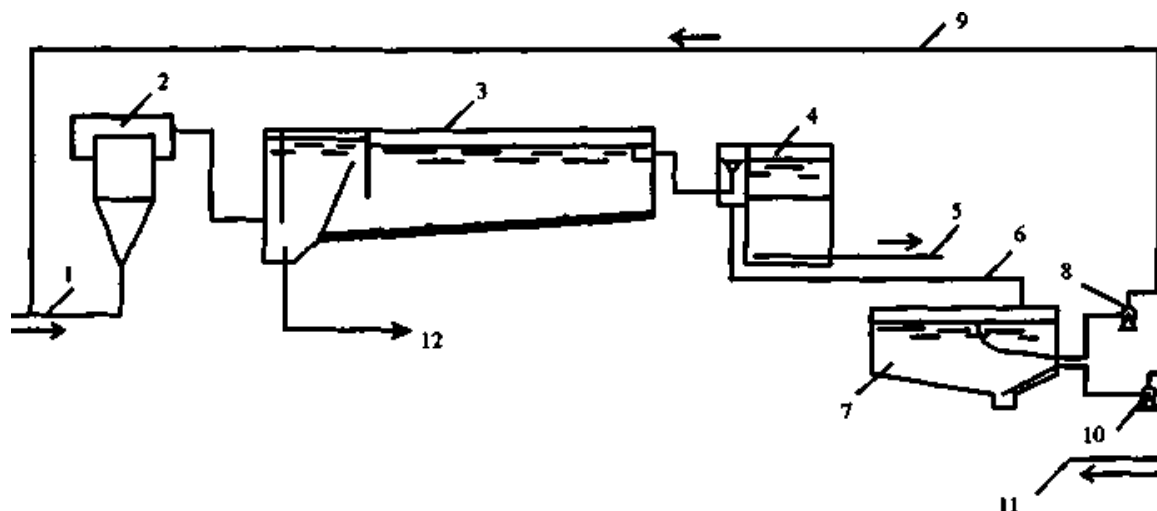


Рис. 5.3. Технологическая схема обработки воды с резервуаром-усреднителем промывных вод скорых фильтров:

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.

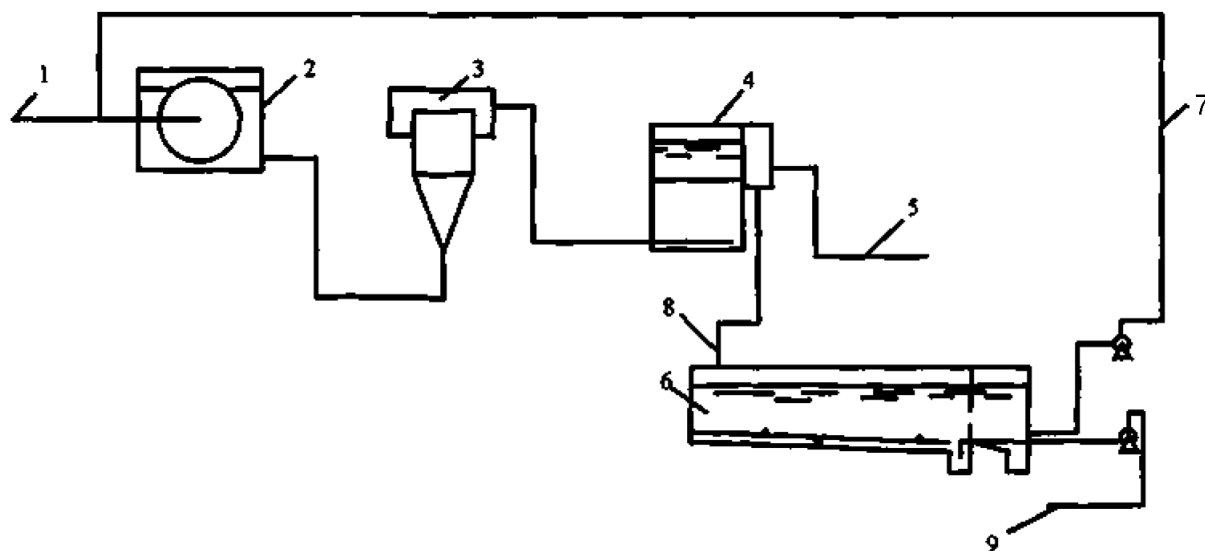


Рис. 5.4. Технологическая схема обработки воды с отстойником промывных вод периодического действия:

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 нагрузками: высокая адгезионная 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 °C).

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.

5.2. 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 м² 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 $Ц/М > 10$ для эффективного обезвоживания образующихся осадков требуется внесение большого объема вспомогательных веществ, а при $Ц/М > 30$ 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.

5.3. Проектирование водоочистных комплексов водоподготовки

5.3.1. 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 водоочистной комплекс, будет равен

$$Q_n = \alpha Q_{\text{макс.сут.}} + Q_{\text{доп}}, \quad (5.1)$$

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

$$Q = 3,6 n q_{\text{пож}} T_{\text{пож}} T_{\text{вос}}, \quad (5.2)$$

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.

5.3.2. 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.

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

Хлораторная

Цех коагулирования

Установка для приготовления и дозирования полиакриламида

От воздухоудовки

К потребителю

Обработка осадка осветлителей

Повторное использование после промывки фильтров

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 – баня 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

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. 5.5). Площадь складов реагентов рассчитывают на хранение 15...30-дневного запаса в зависимости от продолжительности паводка и местных условий их доставки.

Известны две схемы организации реагентного хозяйства: первая - предусматривает получение с заводов-поставщиков готовой продукции, которую затем с помощью специальных дозаторов вводят в обрабатываемую, воду; вторая - основана на получении с заводов полуфабрикатов, нуждающихся в дальнейшей обработке и доведении до продукта, удобного для дозирования.

Употребляемые при обработке воды реагенты вводятся в виде порошков или гранул (сухое дозирование) либо в виде водных растворов или суспензий (мокрое дозирование). Оба способа дозирования требуют организации на водоочистном комплексе реагентного хозяйства. В первом случае на водоочистном заводе должны быть предусмотрены склад готовой продукции и аппараты-дозаторы. Во втором - учитывая, что реагенты поступают в виде полуфабрикатов, необходимо предусмотреть помимо склада аппаратуру для приготовления растворов (или суспензий) реагентов и дозирования в обрабатываемую воду. При этом возможно складирование реагентов в сухом виде навалом или в специальной таре либо в виде высококонцентрированных растворов в специальных емкостях.

Сухое или мокрое хранение реагента принимается в зависимости от его вида и производительности водоочистного комплекса. 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.

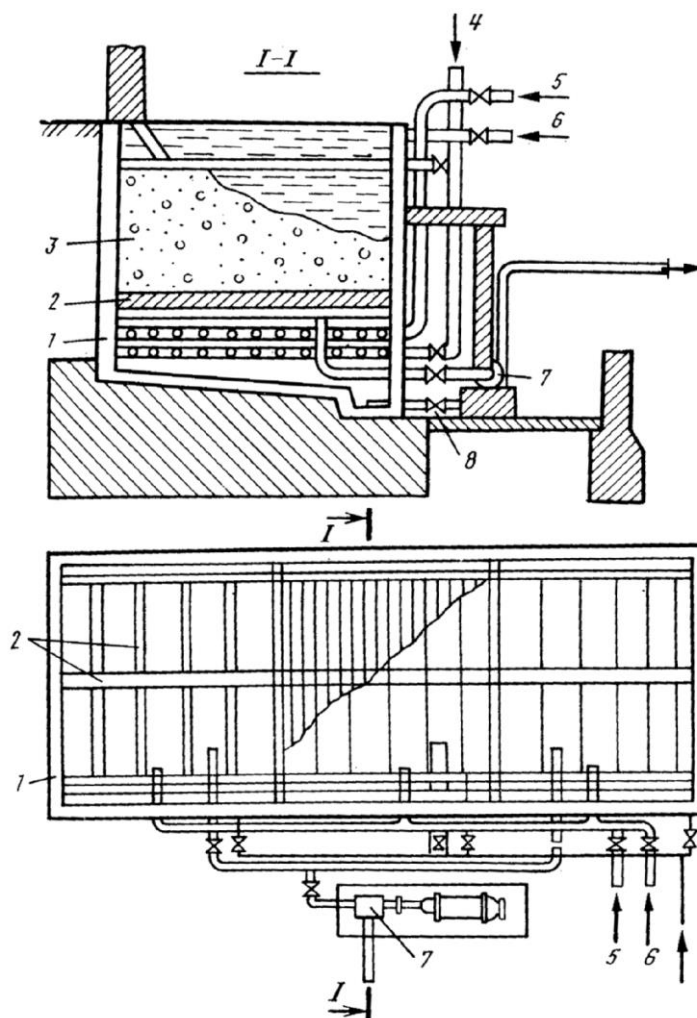


Рис. 5.5. Бак для «мокрого» хранения коагулянта:

1 - железобетонный резервуар с антикоррозионным покрытием; 2 - колосниковая решетка; 3 - слой коагулянта; 4 - подача воды для смыва осадка; 5 и 6 - подача пара и сжатого воздуха в расходные баки; 7 - кислотный насос; 8 - сброс осадка в водосток

Во избежание потерь коагулянта в результате слеживания, а также при выполнении трудоемких погрузочно-разгрузочных работ при доставке коагулянта и загрузке растворных баков в настоящее время широко распространено хранение коагулянта в жидком виде. С этой целью на водоочистном заводе предусматривают резервуары большего объема (рис. 5.5), в которых заготавливают расчетный запас коагулянта в виде раствора высокой

концентрации (до 30%), загружая их коагулянтом, доставляемым с завода-изготовителя в кусках. Количество резервуаров должно быть не менее четырех. При числе баков до десяти следует предусматривать один резервный. В процессе эксплуатации концентрированный раствор коагулянта передают в расходные баки, где доводят раствор до рабочей концентрации 10-12%, а затем дозируют в обрабатываемую воду.

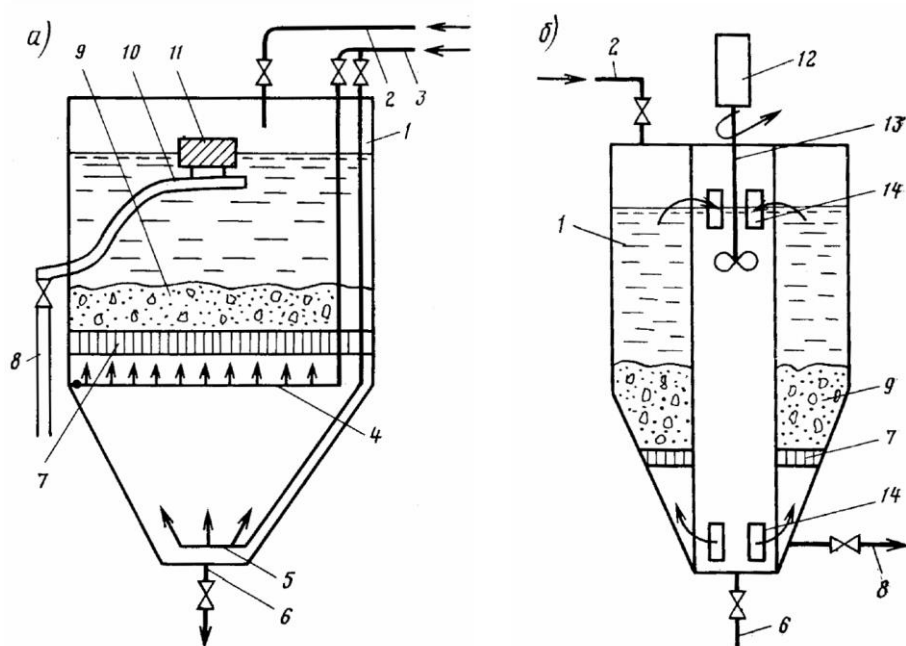


Рис. 5.6. Баки приготовления раствора коагулянта с воздушным (а) и механическим (б) побуждением:

1 - корпус; 2, 3 - подача воды и сжатого воздуха; 7 - колосниковая решетка; 4 и 5 - верхняя и нижняя воздухораспределительная система; 6 - выпуск осадка; 8 - отвод раствора коагулянта; 9 - коагулянт; 12 - электродвигатель; 13 - ось мешалки; 10 - шланг; 11 - поплавок; 14 - окна для циркуляции раствора

Растворы (или суспензии) реагентов готовят в растворных или расходных баках (принимают соответственно не менее двух-трех баков). Для побуждения и интенсификации растворения реагентов предусматривают барботаж (рис. 5.6, а), механическое перемешивание (рис. 5.6, б) или непрерывную циркуляцию раствора с помощью насоса. При барботировании интенсивность подачи сжатого воздуха 8-10 л/(с·м²) для растворения и 3-5

л/(с·м²) для перемешивания при разбавлении в расходных баках. Распределение воздуха следует производить дырчатыми полиэтиленовыми трубами. В растворных баках концентрацию раствора коагулянта, считая по безводному продукту, следует принимать до 20 и 24% соответственно для очищенного кускового и гранулированного, до 17% - для неочищенного, а в расходных баках - до 12%.

Растворные баки должны иметь наклонные днища под углом 45° к горизонтали при использовании неочищенного и 15° - очищенного коагулянта. Они должны быть оборудованы трубопроводом диаметром не менее 150 мм для опорожнения и сброса осадка. Днища расходных баков должны иметь уклон не менее 100 мм.

Для подщелачивания и стабилизации воды применяют известь в виде молока концентрацией до 5% по оксиду кальция или раствора концентрацией до 1,4 г/л, либо раствор соды концентрацией 5-8%. 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.

Технологическая схема известкования воды выбирается с учетом вида и качества исходного продукта, потребности в извести, места ее ввода и т.д. При суточном потреблении извести до 50 кг по оксиду кальция можно применять известковый раствор, приготовляемый в сатураторах двойного насыщения. При большом суточном потреблении извести известковый раствор или молоко готовят в баках (принимают не менее двух баков). Баки должны иметь конические днища с углом 45° и сбросные трубопроводы диаметром не менее 100 мм (рис. 5.7). Непрерывное перемешивание известкового молока в баках осуществляют гидравлическим способом с помощью циркуляционного насоса при восходящей скорости потока не менее 5 мм/с с механическими мешалками или барботированием воздухом с интенсивностью 8-10 л/(с·м²). Известковое

молоко очищают от нерастворимых примесей в вертикальных отстойниках с восходящей скоростью 2 мм/с или в гидроциклонах с двукратным пропуском его через аппарат.

При больших расходах извести гашение ее происходит с помощью гасильного аппарата, перед употреблением. Гашеная известь из гасильного аппарата в виде известкового молока сливается в приемную яму, из которой перекачивается насосом в рабочие баки. Последние должны быть снабжены мешалками, чтобы поддерживать частицы извести во взвешенном состоянии. Иногда известковое молоко перемешивается с помощью насоса, непрерывно перекачивающего его в низ конического бака. Поднимаясь кверху и взмучиваясь, оно поступает с поверхности бака снова к насосу.

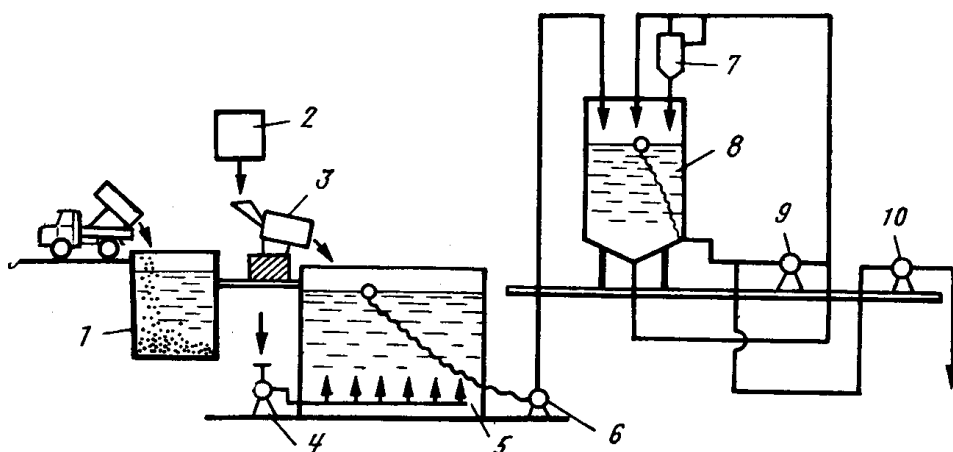


Рис. 5.7. Установка известкования воды:

1 и 2 – бак и бункер известкового теста; 3 – известегасилка; 4 – воздуходувка; 5 – бак крепкого известкового раствора; 9 – насос циркуляционный; 7 – гидроциклон; 8 – гидромешалка; 6 и 10 – насос

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.

На крупных водоочистных комплексах предусматривают песковое хозяйство для хранения, сортировки, промывки и транспортирования материалов, необходимых для периодической догрузки и перегрузки фильтровальных аппаратов. Определение объема емкостей для хранения фильтрующих материалов и подбор оборудования для их промывки и отсева производят из расчета 10% ежегодного пополнения фильтрующей загрузки и 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.

5.3.3. 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. 5.5).

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.

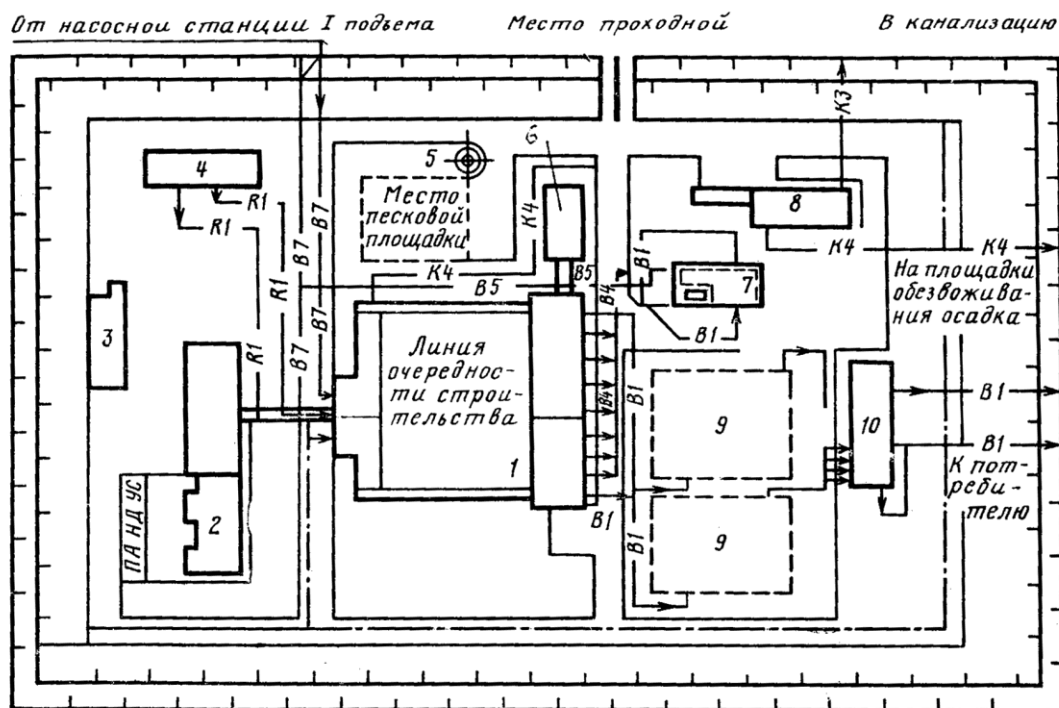


Рис. 5.8. Генеральный план водоочистного комплекса:

1 - блок основных сооружений; 2 - реагентное хозяйство; 3 - котельная; 4 - служебный корпус; 5 - башня промывной воды; 6 - хлораторная; 7 - сооружения оборота промывной воды; 8 - сооружения обработки осадка; 9 - резервуар чистой воды; 10 - насосная станция II подъема

На рациональное решение генерального плана водоочистного комплекса доминирующее влияние оказывает рельеф местности. Так, в целях уменьшения объема земляных работ по выемке грунта и обсыпке отдельных сооружений рекомендуется располагать в повышенных местах сооружения с высокими отметками заложения фундамента, а с малыми — в пониженных. Все основные и вспомогательные сооружения желательно располагать в виде единого комплекса (рис. 5.9), 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, ограждаются 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.

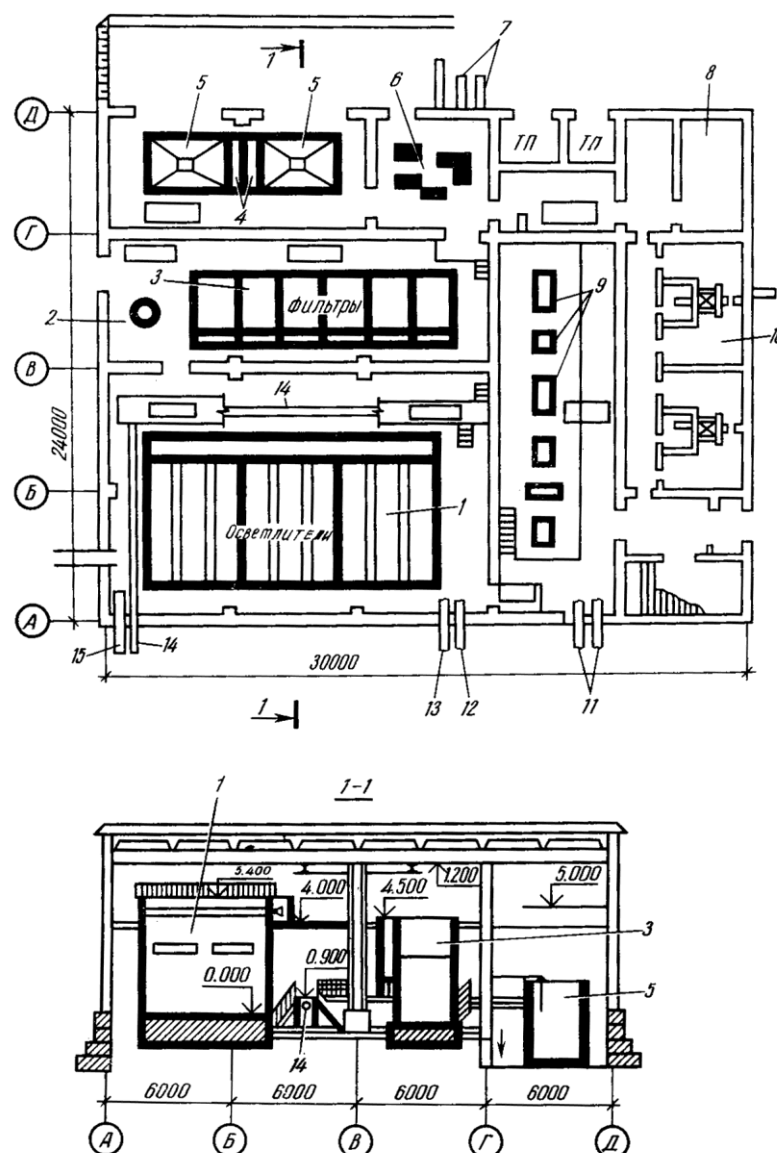


Рис. 5.9. Компонировка водоочистных сооружений:

1 – осветлители со взвешенным осадком; 2 – смеситель; 3 – скорые фильтры; 4 – расходные баки коагулянта; 5 – растворные баки-хранилища коагулянта; 6 – насосы-дозаторы и воздухоудовки; 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.

5.3.4. Техничко-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 водоочистой 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:

$$\Pi = \mathcal{E} + E_n \cdot K, \text{ руб.}, \quad (5.2)$$

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:

$$S = \mathcal{E} / Q_{\text{ср.год}}, \text{руб./м}^3, \quad (5.3)$$

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:

$$K_{\text{уд}} = K / Q_{\text{сум}}, \text{руб./м}^3, \quad (5.4)$$

Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии очистки или новых конструкций очистных сооружений определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_z = [(\mathcal{E}_a + K_a E_n) - (\mathcal{E}_n + K_n E_n)] \cdot Q_{zod}, \text{ руб.}, \quad (5.5)$$

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_{zod} – 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:

$$P_{(t)} = P_{\delta} \cdot J_{ti}, \quad (5.6)$$

где P_{δ} – базисная цена воды; J_{ti} – коэффициент (индекс) изменения цен ресурсов соответствующей группы в конце t_i года по отношению к начальном) 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:

$$P_{\delta(i)} = S_{\delta(i)} + E_{\delta(i)} \cdot K_{\delta(i)} + \Delta\Pi_{\delta(i)}, \text{ м}^3 \quad (5.7)$$

где $S_{\delta(i)}$ – полная себестоимость получения 1 м³ воды требуемого качества, учитывающая текущие затраты на забор воды из водоисточника, 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).

5.3.5. 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 земляных 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 междеховых 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 фонового загрязнения 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.

5.4. 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.

5.4.1. 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.

5.4.2. 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.

5.4.3. 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 дозировки 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.

5.4.4. 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 комья 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.

5.4.5. 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).