

Глава 6. Фильтрация воды

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

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

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

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

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

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

Расчетную скорость фильтрации v (6-10 м/ч) и толщину слоя однослойной фильтрующей загрузки h (0,7-2,0 м) в соответствии со СНиПом

следует принимать в зависимости от крупности зерен загрузки.

Фильтрующий слой выполняют из отсортированного материала, чаще всего речного кварцевого песка крупностью от 0,5 до 2,0 мм. Могут быть применены и другие материалы, удовлетворяющие санитарным требованиям и обладающие достаточной химической стойкостью и механической прочностью (дробленый антрацит, керамзит, керамическая крошка, дробленый мрамор, полимеры и др.).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

При реагентном умягчении воды или реагентом обезжелезивании наряду с обычной промывкой целесообразно применять поверхностную промывку с целью отмывки загрязнений в верхнем слое загрузки. Ее можно производить с помощью дырчатых неподвижных или вращающихся промывных труб, через

которые под напором 0,3-0,4 МПа подается вода. Скорость в подводящих трубах 2.5-3 м/с, скорость выхода воды из отверстий 8-10 м/с, интенсивность промывки 3-4 л/(с·м²)

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

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

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

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

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

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

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

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

Общую площадь фильтров комплекса F_{ϕ} , м², определяют по формуле :

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T v_n - n_{np} q_{np} - n_{np} t_{np} v_n}$$

где Q – полезная суточная производительность комплекса, м³/сут; T – период работы водоочистного комплекса в течение суток, ч; v_n – расчетная скорость

фильтрования при нормальном режиме, м/ч; n_{np} – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации; q_{np} – удельный расход воды на одну промывку фильтра, м³/м²; t_{np} – время простоя фильтра в связи с промывкой, принимаемое при промывке водой – 0,33 ч, водой и воздухом – 0,5 ч.

Количество фильтров на водоочистном комплексе с суточной производительностью свыше 1600 м³ принимают не менее четырех. При суточной производительности комплекса более 8...10 тыс. м³ число фильтров N_{ϕ} находят из выражения $N_{\phi} = 0,5 \sqrt{F_{\phi}}$ при соблюдении соотношения

$$v_{\phi} = \frac{v_n N_{\phi}}{N_{\phi} - N}$$

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

Площадь одного фильтра следует принимать не более 120 м².

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

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

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

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

$$H_{\text{ж}} = \frac{H_3 e_3}{100} + 0,3,$$

где H_3 – высота фильтрующего слоя, м; e_3 – относительное расширение фильтрующей загрузки, принимаемое по СНиПу в пределах 25...50 %.

Расстояние от дна желоба до дна бокового кармана или центрального канала H_k определяют из выражения

$$H_k = 1,73 \left(\frac{q_k^2}{gB_k^2} \right)^{1,3} + 0,2,$$

где q_k – расход промывной воды по каналу, м³/с; $B_k = 0,7...0,8$ – ширина канала, м.

Параметры фильтрующей загрузки и режим работы фильтра надлежит принимать по табл. 6.1.

Таблица 6.1

Фильтры	Характеристика фильтрующего слоя					Скорость фильтрования, м/ч		
	Материал загрузки	Диаметр зерен, мм			Коэффициент неоднородности загрузки	Высота слоя, м	при нормальном режиме v_n	при форсированном режиме v_ϕ
		наименьших	наибольших	эквивалентный				
Однослойные скорые фильтры с загрузкой различной крупности	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	5-6	6-7,5
		0,7	1,6	0,8-1	1,6-1,8	1,3-1,5	6-8	7-9,5
		0,8	2	1-1,2	1,5-1,7	1,8-2	8-10	10-12
	Дробленый керамзит	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	6-7	7-9
		0,7	1,6	0,8-1	1,6-1,8	1,3-1,5	7-9,5	8,5-11,5
		0,8	2	1-1,2	1,5-1,7	1,8-2	9,5-12	12-14
Скорые фильтры с двухслойной загрузкой	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	7-10	8,5-12
	Дробленые керамзит или антрацит	0,8	1,8	0,9-1,1	1,6-1,8	0,4-0,5		

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

$$h = \xi \frac{v_o^2}{2g} + \frac{v_k^2}{2g}$$

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

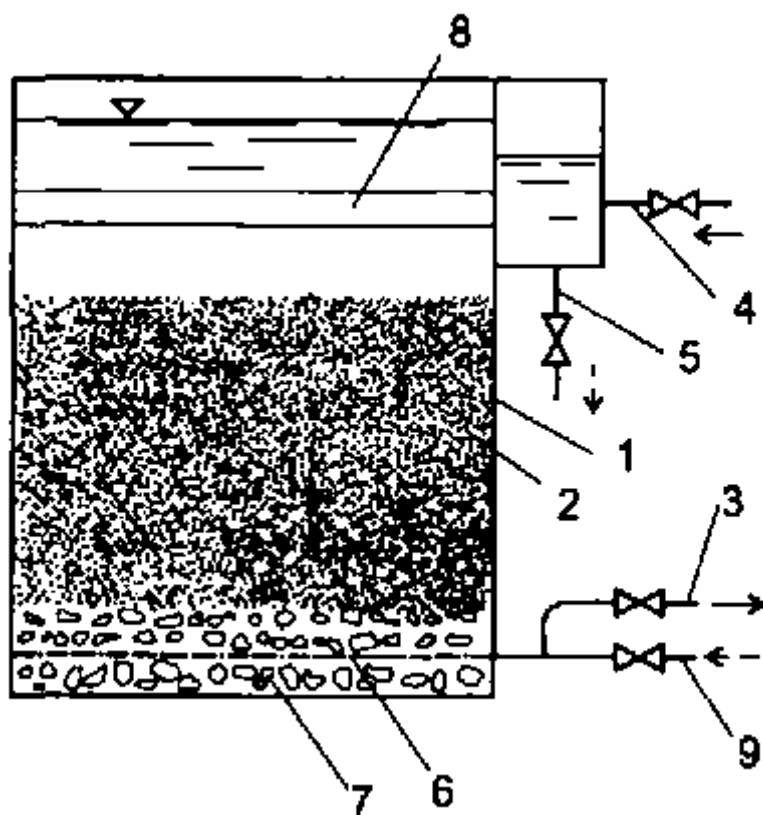


Рис. 6.1. Схема скорого фильтра:

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

В технологии обработки воды наряду со скорыми фильтрами широко применяют контактные фильтры (КФ), двухпоточные двухслойные фильтры (ДДФ) и каркасно-засыпные скорые фильтры. Эти фильтры большой грязеемкости.

Под **грязеемкостью** подразумевают количество загрязнений, задержанных фильтрующей загрузкой в течение фильтроцикла (т.е. от промывки до другой промывки), отнесенное к единице площади фильтрования.

Фильтры ДДФ имеют два слоя наддренажной фильтрующей загрузки. Скорость фильтрования до 25 м/ч.

В схемах технического водоснабжения значительное распространение получили каркасно-засыпные фильтры и напорные сверхскоростные осветлительные фильтры системы Г.Н. Никифорова. Каркасно-засыпные фильтры имеют загрузку в виде каркаса из гравия или щебня толщиной 2 м и засыпки из песка (керамзита, антрацита, шлака) толщиной 1 м, заполняющей часть порового пространства. Скорость фильтрования до 20 м/ч. Промывка водовоздушная. Фильтры системы Г.Н.Никифорова фильтруют воду со скоростью до 100 м/ч. Фильтр представляет собой цилиндрический корпус с круглой камерой внутри. Пространство между этими цилиндрами разделено вертикальными перегородками на восемь отсеков – фильтров с песчано-гравийной загрузкой. В работе находятся семь отсеков, а один – на промывке. Продолжительность фильтроцикла в каждом отсеке не превышает одного-двух

часов. Учитывая, что производительность фильтра лимитируется его размерами и при диаметре 3 м не превышает 150 м³/ч, Г.Н. Никифоров предложил батарейный тип сверхскоростных напорных фильтров с автоматической системой промывки. Все фильтры, входящие в блок, связаны единым гидравлическим режимом.

В водоподготовке также применяются напорные скорые фильтры (рис. 6.2). Серийно выпускаются напорные вертикальные фильтры восьми типоразмеров (диаметром от 1-3,4 м). Высота фильтрующей загрузки в фильтрах всех размеров принята 1,2 м. Подача осветленной воды и отвод промывной осуществляется через центрально расположенную воронку, обращенную широким концом кверху, или кольцевой перфорированный трубопровод. Фильтр не имеет поддерживающих слоев, и фильтрующий материал располагается непосредственно на колпачковом или щелевом дренаже. Промывка загрузки предусмотрена водовоздушная, для чего фильтр снабжен специальной распределительной системой для подачи во время промывки сжатого воздуха. Эта распределительная система располагается в фильтрующей загрузке фильтра. Загрузка фильтра производится через верхний лаз. Для гидравлической выгрузки фильтрующей загрузки предусмотрен специальный разгрузочный штуцер.

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

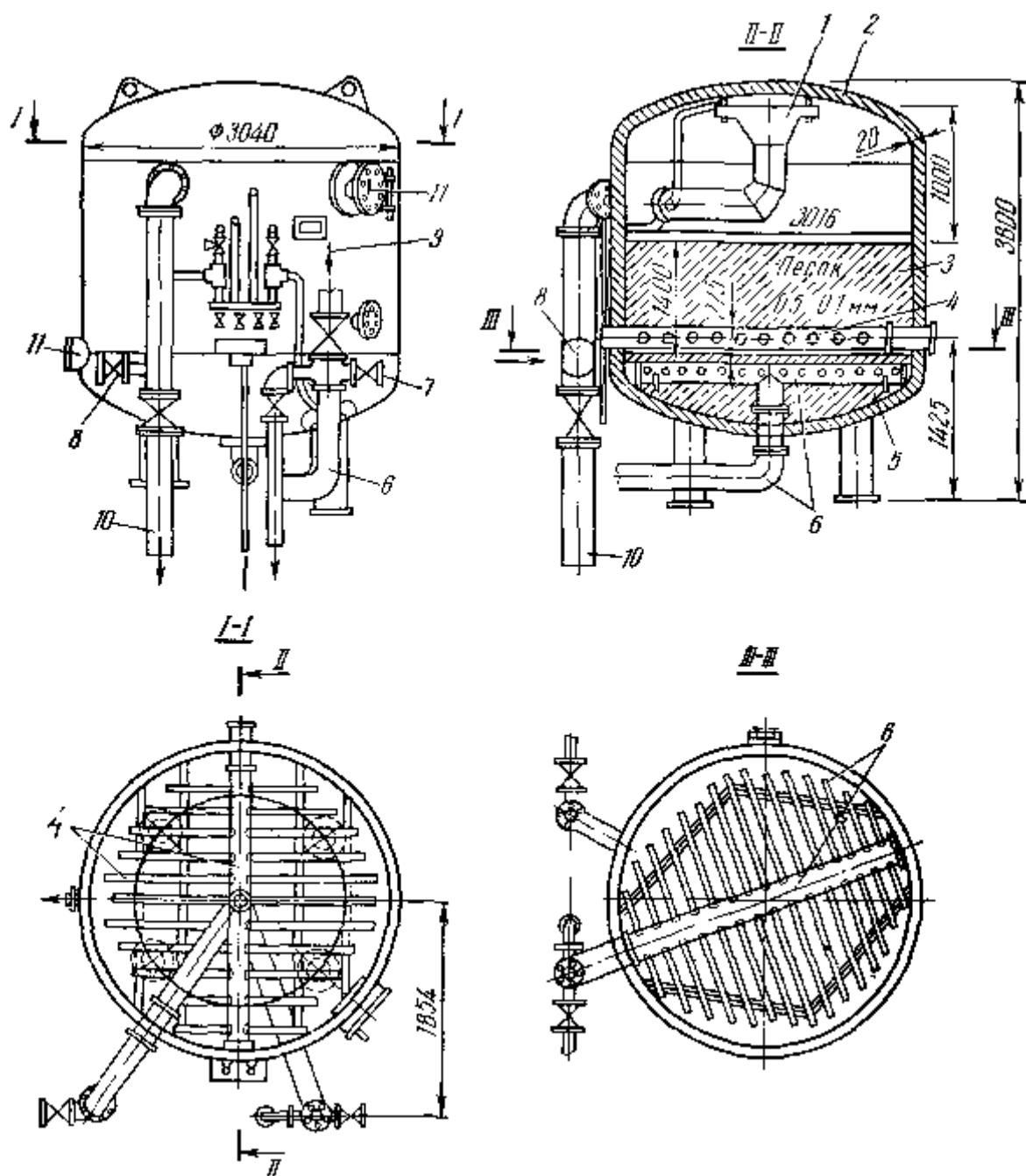


Рис. 6.2. Вертикальный напорный скорый фильтр:

1 – распределительно-сборная воронка; 2 – стальной корпус; 3 – загрузка из песка; 4 – распределительная система из щелевых труб; 5 – бетонная «подушка»; 6 – подача воздуха; 7, 8 – отвод фильтрата и подача исходной воды, 9, 10 – подача и отвод промывной воды, 11 – люк

6.3. Контактные осветители

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

При водообработке на контактных осветителях (КО) коагулянт вводят в

воду непосредственно перед ее поступлением в загрузку аппаратов, процесс коагуляции происходит в ее толще. За короткий промежуток времени от момента введения коагулянта до начала фильтрования в воде могут образоваться лишь микроагрегаты коагулирующих частиц. Дальнейшая агломерация примесей происходит не в свободном объеме воды, а на зернах загрузки КО; частицы адсорбируются на поверхности зерен, образуя отложения характерной для геля сетчатой структуры. Такой процесс является контактной коагуляцией, что обуславливается контактом воды, содержащей коагулированные примеси, с поверхностью зерен контактной массы.

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

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

При использовании контактных осветлителей основная масса примесей воды задерживается в нижних – крупнозернистых слоях, характеризующихся большой грязеемкостью, что уменьшает темп прироста потери напора. Снижение темпа прироста потери напора и увеличение продолжительности защитного действия загрузки вследствие большой высоты слоя позволяет очищать на КО воду с содержанием взвеси, значительно превышающим обычно допустимое для скорых фильтров. Скорые фильтры могут работать нормально, если содержание взвеси в поступающей на них воде составляет 5-15 мг/л. Контактные же осветлители работают нормально при содержании взвеси в очищаемой воде до 120 мг/л и ее цветности 120 град. ПКШ.

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

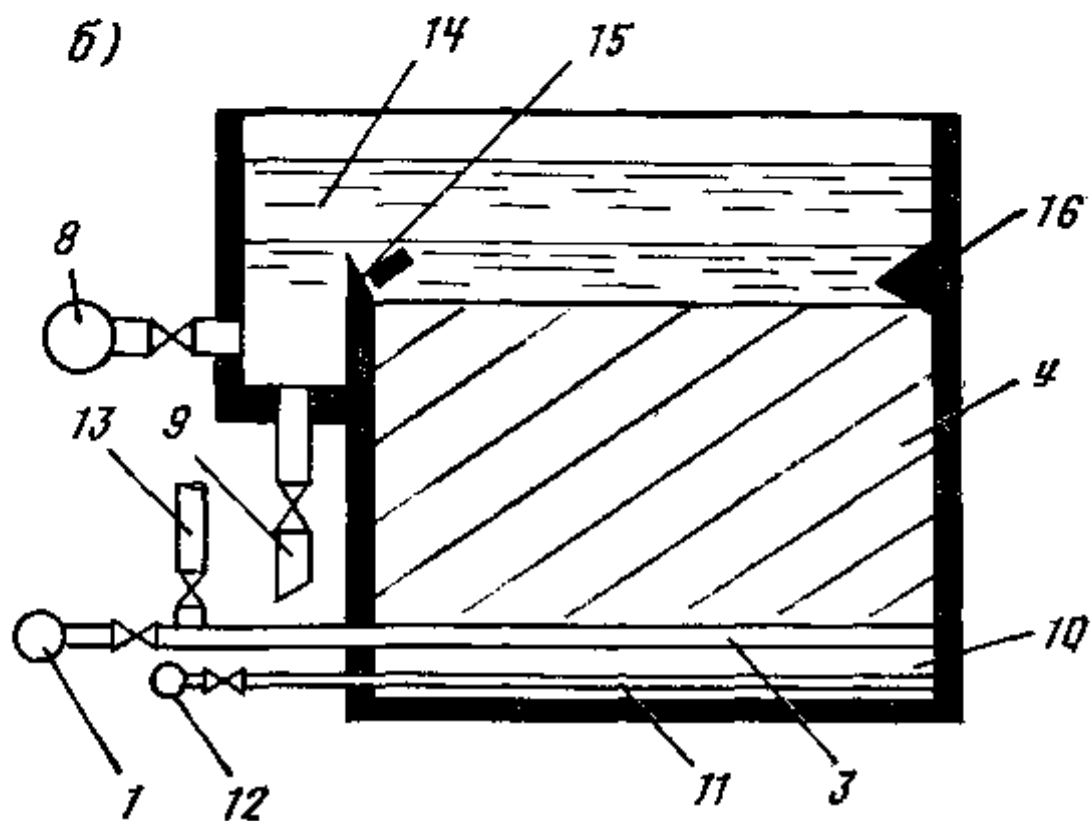
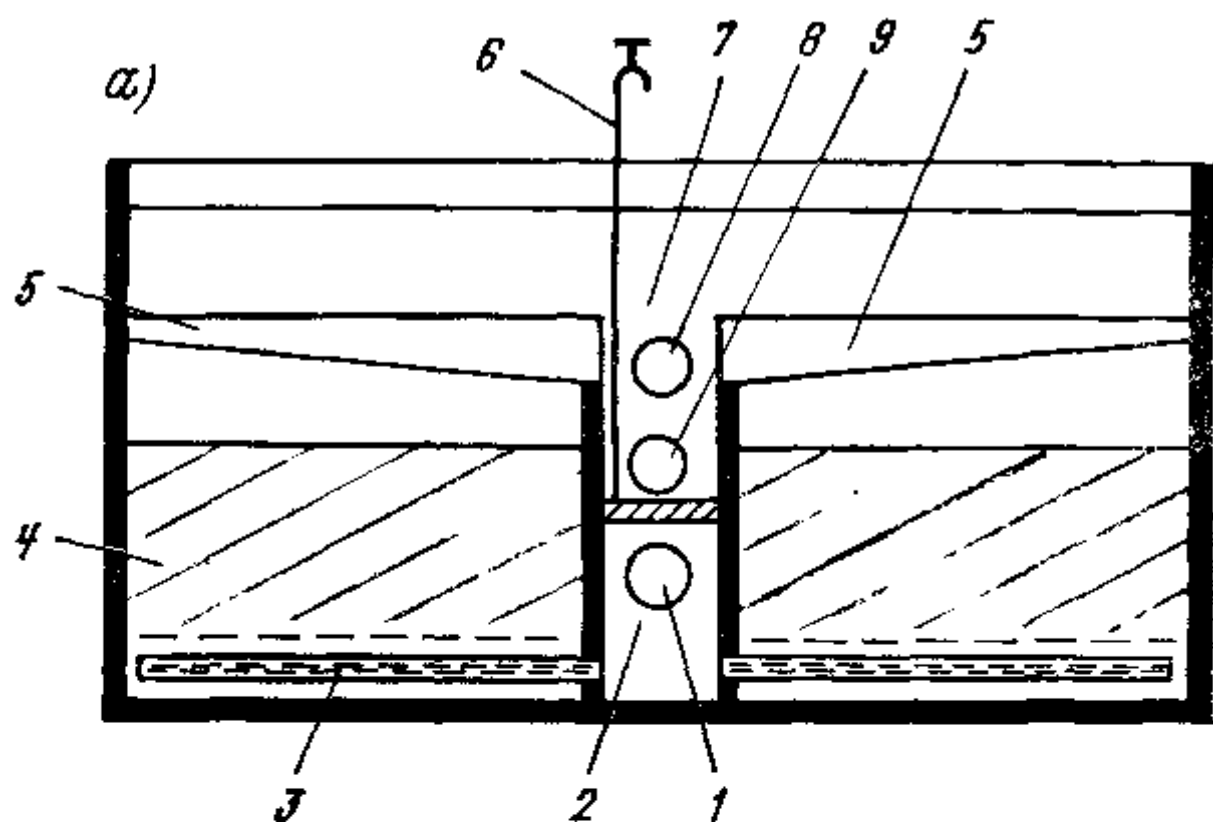


Рис. 6.3. Контактные осветители КО-1 (а) и КО-3 (б):
 1 – подача исходной воды; 2, 7 – нижнее и верхнее отделения центрального канала; 3 – водораспределительная система; 4 – слой песка; 5 – водосборный желоб; 8 – отвод фильтрата; 9 – отвод промывной воды; 10 – слой гравия; 11 – воздухораспределительная

система; 12 – подача воздуха на промывку; 13 – подача промывной воды; 14 – боковой карман; 15 – пескоулавливающий желоб; 16 – струенаправляющий выступ

Контактные осветлители рекомендуется использовать без поддерживающих слоев при промывке водой и с поддерживающими слоями при водовоздушной промывке. Разработаны три модели КО. Осветлитель КО-1 представляет собой резервуар, заполненный загрузкой из песка и гравия. Песок не должен содержать фракции крупнее 2 мм и мельче 0,7 мм. Средний диаметр песка 0,9...1 мм, $d_{эжв} = 1...1,3$ мм, толщина слоя песка около 2 м. Гравийные слои располагают под песчаной загрузкой на дне контактного осветлителя, они имеют общую толщину 0,6-0,8 м. Рекомендуемая высота и крупность песчаных и гравийных слоев приведены в СНиП 2.04.02-84*. Расчетную скорость фильтрации для КО-1 принимают 4,0...5,5 м/ч. Очищаемую воду предварительно смешивают с коагулянтom и вводят в загрузку с помощью распределительной системы из дырчатых труб, уложенных на дне в слое мелкого гравия (2-10 мм). Распределительная система служит и для подачи промывной воды. Промывку с интенсивностью 15-18 л/(с·м²) в течение 7-8 мин производят также как, и обычных скорых фильтров. Осветленная вода, как и промывная, отводится с помощью желобов, расположенных над песком.

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

6.4. Фильтры с плавающей загрузкой

Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) являются эффективными, высокопроизводительными сооружениями по очистке природных, оборотных и сточных вод от гетерофазных примесей.

Применение плавающих полимерных гранульных загрузок с плотностью меньшей плотности воды открыло новые перспективы в совершенствовании и интенсификации работы зернистых фильтров. Плавающая загрузка в работе не имеет непосредственного контакта с нижней дренажной системой сбора и отвода промывной вод. Это позволяет отказаться от применения в корпусах фильтров дренажа большого сопротивления и специальных промывных насосов, уменьшить материалоемкость сборно-распределительных систем и рационально использовать весь располагаемый напор над коллектором отвода промывной воды.

Расходы на доставку пенополистирольной загрузки к объектам сокращается в 15...25 раз по сравнению с тяжелыми загрузками; так как из 1 т исходного сырья на месте применения можно получить более 15 м³ плавающей

загрузки. В отличие от промывки тяжелых фильтрующих материалов, вектор силы тяжести задержанных в порах загрузки загрязнений, совпадает с вектором движения промывного потока, поскольку промывка плавающей загрузки осуществляется сверху вниз водой из надфильтрового пространства, повышая эффективность отмывки загрузки и сокращая ее продолжительность.

Технико-экономические расчеты и анализ конкретных условий применения плавающих гранульно-волокнистых полимерных загрузок подтвердили целесообразность их использования в компактных установках заводского изготовления, на водозаборных узлах и станциях водоочистки. Особенно перспективны они там, где отсутствуют или находятся на далёком расстоянии сырьевые базы более дешевых фильтрующих материалов из керамзита, горелых пород, вулканических шлаков и др.

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

Беспрессовым методом можно получить вспенивающийся полистирол разных марок, существенно отличающихся одна от другой. Так, за последние 30 лет в ОНПО «Пластполимер» помимо основных марок ПСВ, ПСВ-С и ПСВ-Б были разработаны новые марки гранулированного вспенивающегося масло- и бензостойкого пенополистирола: ПСВ-М20 и ПСВ-Н35, ПСВ-Э3 и ПСВ-Э5 (сверхлегкие), ПСВ-СПМ (с низким содержанием, до 0,05 % – мономера стирола), ПСВ-ЛД (с улучшенной газифицируемостью), изготавливаемые по ОСТ 05-202-88. По ТУ 6-05-1905-98 изготавливается пенополистирол с поверхностной обработкой биссера марок ПСВ-77Р, ПСВ-77С и др.

Приготовление плавающей фильтрующей загрузки из гранул пенополистирола заключается в предварительном рассеве бисера, его вспенивании и охлаждении в заданном технологическом режиме. Степень расширения гранул, характеризующая отношением объема вспененных гранул к объему исходных, зависит от вида и содержания вспенивающегося агента в исходном продукте, вида и температуры теплоносителя, продолжительности и условий протекания процесса вспенивания в различных аппаратах.

Основными условиями приготовления плавающей фильтрующей загрузки являются строгое соблюдение заданных режимов температуры и времени тепловой обработки; создание одинаковых температурных условий для всех зерен бисера, участвующих в технологическом цикле вспенивания; предотвращение слипания гранул между собой.

Правильная технология вспенивания позволяет из исходных гранул различного диаметра получить плавающую загрузку с широким диапазоном изменения грансостава, удовлетворительными механическими свойствами и

хорошо развитой площадью свободной поверхности.

Наличие в воде минеральных масел, нефтепродуктов и жиров с концентрацией свыше 10 мг/л препятствует нормальной работе ФПЗ в безреагентном режиме. В то же время ввод коагулянтов и флокулянтов повышает эффект очистки. ФПЗ могут быть применены как при строительстве новых фильтровальных станций, так и реконструкции существующих сооружений (путем переоборудования кварцевых фильтров, осветлителей со взвешенным осадком, отстойников). Производительность очистной станции может быть любая при соответствующем технико-экономическом обосновании. В настоящее время разработано свыше 100 конструкций фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой (ФПЗ), отличающихся областью применения, технологическими возможностями, разнообразием конструктивных элементов, условиями размещения пенополистирольной загрузки в корпусах, (в том числе в известных существующих водопроводных и канализационных сооружениях), способами промывки пенополистирольной загрузки.

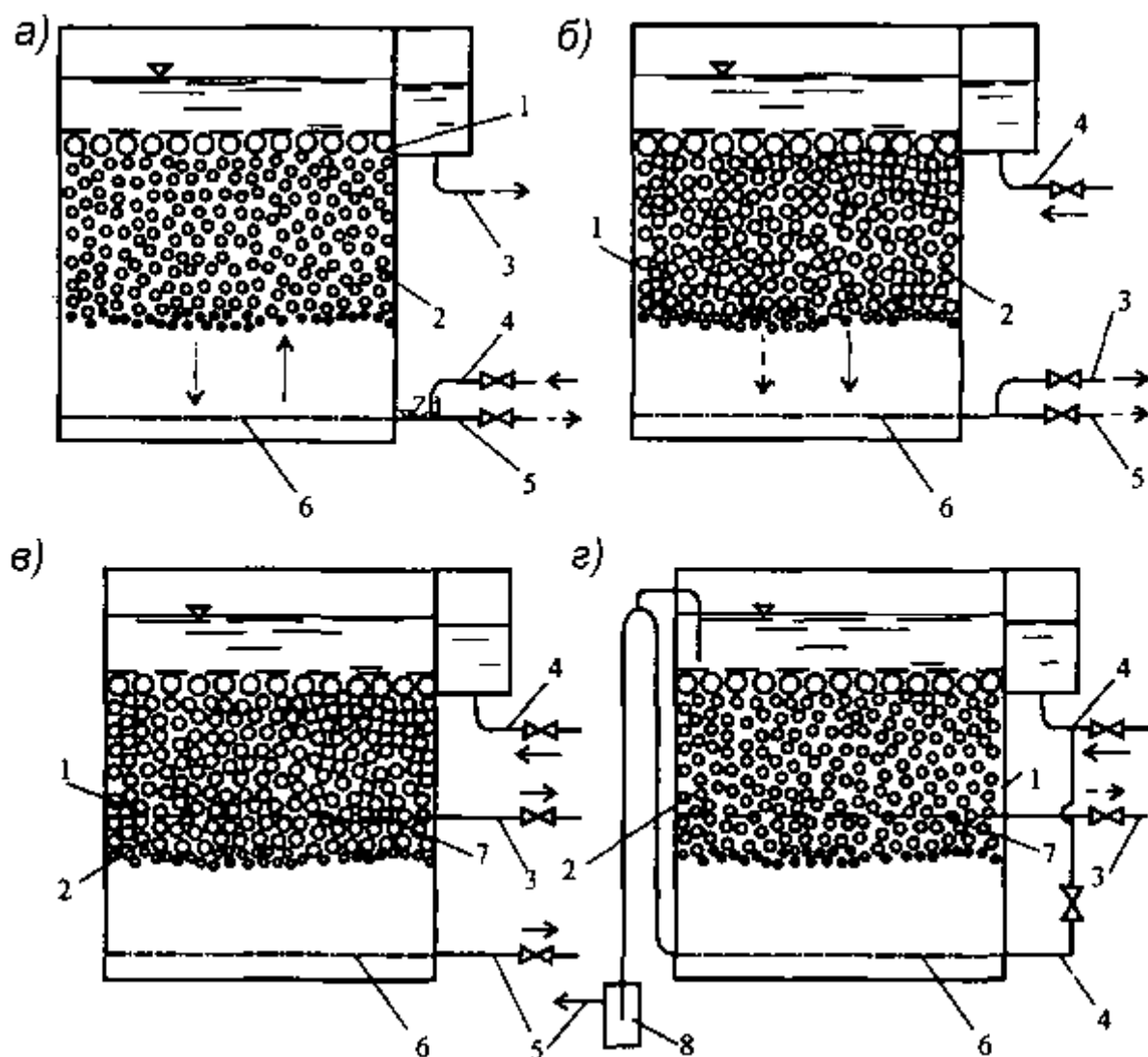


Рис. 6.4. Конструкции ФПЗ-1 (а), ФПЗ-3 (б), ФПЗ-4 (в), АФПЗ-5м (г):
 1 – корпус; 2 – фильтрующая загрузка; 3 – отвод фильтрата; 4 – подача исходной воды;
 5 – отвод промывной воды; 6 – нижняя дренажная система; 7 – средняя дренажная
 система; 8 – система гидроавтоматической промывки

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

Исходные данные для инженерного расчета ФПЗ различных конструкций в первом приближении могут быть приняты по табл. 6.2.

Выбор конструкции ФПЗ следует производить в зависимости от фазово-дисперсного состояния примесей в обрабатываемой воде, назначения очистки и высотной технологической схемы станции. Скорости фильтрования и продолжительность фильтроцикла уточняются в процессе эксплуатации фильтра.

При применении конструкций ФПЗ-3, ФПЗ-4, ФПЗ-5 в технологии очистки хозяйственно-питьевой воды с целью обеспечения высокой санитарной надежности промывки загрузки следует предусматривать устройство дополнительного трубопровода для подачи чистой воды в надфильтровое пространство.

Потери напора на ФПЗ следует принимать $> 1,5$ м при фильтровании сверху вниз и 2,0-2,5 м при фильтровании по схеме снизу вверх. Высота слоя воды над поверхностью загрузки во время фильтрования должна быть не менее 0,5 м, а к концу промывки – не менее 0,1 м. Требуемая высота слоя воды в надфильтровом пространстве, используемой для промывки, определяется расчетом.

Количество рабочих фильтров и блокирование секций над фильтрового пространства должно обосновываться технико-экономическим расчетом. Выключение одной секции ФПЗ на промывку допускает увеличение скорости фильтрования на 20%. Температура очищаемой воды не должна превышать 50 °С (во избежание размягчения полимера).

С целью уменьшения расчетной высоты фильтра в конструкциях ФПЗ-1, ФПЗ-2, ФПЗ-6 (фильтрование осуществляется снизу вверх) рекомендуется объединять надфильтровое пространство трех-шести фильтров с помощью общего бокового кармана или трубопровода в блок-фильтры. При этом должна быть предусмотрена возможность отключения любого фильтра на ремонт или осмотр без нарушения гидравлического режима работы остальных фильтров.

Таблица 6.2

Технологические параметры ФПЗ при фильтровании природных и сточных вод

Конструкция фильтра	Характеристика фильтрующего слоя			Режим фильтрования				Режим промывки		
	тип загрузки	диаметр гранул, мм	толщина слоя, м	содержание взвешенных веществ в воде, мг/л		скорость фильтрования в нормальном режиме, м/ч	минимальная продолжительность цикла, ч	интенсивность, л/(с·м²)	продолжительность, мин.	отрицательное расширение загрузки, %
				исходной	фильтрате					
1. Реагентное контактное фильтрование для питьевых целей										
ФПЗ-1	Однослойная однородная	1,0-1,5	1,0	100	1,5	6-7	8	12-15	3-4	40
ФПЗ-3	Однослойная	1,0-4,0	1,2	150	1,5	4-5	8	10-12	3-4	50
ФПЗ-4	неоднородная	0,5-4,0	1,4	250	1,5	8-10	10	10-12	3-4	50
2. Обезжелезивание подземных вод после упрощенной аэрации										
ФПЗ-4	Однослойная неоднородная	0,5-0,4	1,2	(10,0)	(0,3)	12-10	24	10-12	4-5	40
3. Безреагентное объемное фильтрование для питьевых целей										
ФПЗ-1	Однослойная	0,5-2,0	0,8	100	1,5	0,8-1,2	8	10-12	3-4	50
ФПЗ-2	Двухъярусная	1-ый ярус 1,0-2,0 2-ый ярус 0,5-1,0	0,7	250	1,5	1,2-1,5	8*	10-12	3-4	50
ФПЗ-4	Однослойная	0,5-3,0	1,2	500	1,5	2,0*	10*	10-12	3-4	50
4. Безреагентное осветление на технические нужды										
ФПЗ-4	Однослойная	0,8-1,0	1,4	500	10-15	5,0	8	15	4-5	50
5. Доочистка биологически (физико-химических) очищенных сточных вод										
ФПЗ-4	Однослойная	0,7-6,0	1,4	20 (15)	3-6 (3-5)	10	12	15	5	40
АФПЗ-5М	Однослойная	1-6,0	1,6	50 (15)	3-6 (3-5)	15	24	15	3	40

Примечания: 1. Допустимая цветность воды при одноступенчатой реагентной очистке до 150 град, при безреагентном осветлении - до 150 град.

2. В скобках указано содержание железа общего и БПК₅.

3. Цифры, обозначенные звездочкой, относятся к работе загрузки из дробленых гранул полистирола.

Площадь одного фильтра из конструктивных и экономических соображений рекомендуется назначать в зависимости от производительности станций:

при $Q < 1000 \text{ м}^3/\text{сут}$, $F = 4 - 16 \text{ м}^2$;

при $Q = 1000 - 10000 \text{ м}^3/\text{сут}$, $F = 16 - 25 \text{ м}^2$;

при $Q = 10000 - 100000 \text{ м}^3/\text{сут}$, $F = 25 - 50 \text{ м}^2$.

6.5. Медленные фильтры

В медленных фильтрах осветления воды достигают за счет пленочного фильтрования. Мелкозернистая фильтрующая загрузка, имеющая мелкие поры, вначале задерживает на своей поверхности наиболее крупные частицы. Последние, заклиниваясь в порах, сужают их сечение, благодаря чему начинает задерживаться более мелкая взвесь. Этот процесс быстро прогрессирует, в порах задерживаются все более и более мелкие частицы, а затем коллоиды и даже бактерии. Так на поверхности фильтра образуется фильтрующая пленка с очень тонкими порами. После этого качество фильтрата становится весьма высоким. Задержанные пленкой бактерии и органические вещества обуславливают возникновение в ней биологических процессов, включая развитие низших организмов, поглощающих бактерии. Зерна песка обрастают студенистой массой, являющейся хорошим сорбентом. В результате биологических процессов большинство (до 99 %) бактерий, находящихся в воде, задерживается пленкой и погибает. Созревшую фильтрующую пленку медленных фильтров называют биологической. С течением времени биологические процессы начинают захватывать и более глубокие слои (30...40 см). Здесь через 2...6 суток зерна песка также обволакиваются слизью, которая

хорошо сорбирует коллоиды и бактерии. Одновременно происходят окислительные процессы, в результате которых органические вещества минерализуются.

Для созревания биологической пленки и медленного фильтра в целом необходимо от 2 суток и более. В. С. Оводов выделяет две фазы созревания медленного фильтра: осветлительное созревание, когда фильтр начинает давать светлую воду, и бактерицидное, когда число бактерий в фильтрате снижается до допустимой нормы. Продолжительность осветлительного созревания – от одного до нескольких часов. Для бактерицидного созревания требуется 0,5...2 сут, а в случае свежей фильтрующей загрузки и более.

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

Для получения хорошего качества фильтрата на протяжении всего периода работы фильтра необходимо поддерживать постоянную скорость фильтрования. Высоту слоя воды над песком принимают равной 1,5 м.

Дренаж медленного фильтра чаще выполняют из дырчатых бетонных плит, опертых на бетонные столбики, или в виде крытых дрена, выложенных из хорошо обожженного кирпича. Иногда применяют гончарные или керамические трубы (без заделки стыков) или дырчатые асбестоцементные трубы. В фильтрах с площадью до 15 м² дренаж можно не устраивать; в этом случае для отвода воды служит лоток, заглубленный в бетонное днище, перекрытый кирпичами или плитками. Для устройства дренажа применяют также плитки из пористого бетона без поддерживающих слоев.

Поддерживающие слои из гравия или щебня и крупного песка с уменьшающейся крупностью зерен укладывают на дренаж так, чтобы через верхний слой не выносило песок фильтрующего слоя.

Фильтрующий слой насыпают из чистого промытого кварцевого песка с размером зерен 0,3...1 мм. При механизированной поверхностной промывке фильтра толщину фильтрующего слоя принимают 0,8 м. При ручной очистке фильтра ее увеличивают до 1,2 м. Это позволяет несколько раз подряд очищать фильтр со снятием верхнего загрязненного слоя, не добавляя песка, пока толщина его не уменьшится до 0,8 м. После этого фильтр досыпают промытым песком до прежней отметки.

Механизированный способ очистки медленных фильтров заключается в промывке верхней части фильтрующего слоя поверхностным током воды с одновременным рыхлением песка струями воды или механическими рыхлителями. В первом случае струи воды, вытекающие из отверстий

подвижной трубы с большой скоростью, размывают пленку и верхний слой песка. При этом загрязнения вымываются из песка, транспортируются той же водой по поверхности фильтра и отводятся в сток. Во втором случае рыхление осуществляется механическими граблями. Взмученные загрязнения выносятся током воды, пускаемой небольшим слоем по поверхности фильтра. Расход воды на смыв загрязнений определяют по норме 9 л/с на 1 м ширины фильтра. Продолжительность смыва 10...20 мин.

Фильтроцикл медленного фильтра при очистке со снятием верхнего слоя песка складывается из: фильтрования (около 30...50 сут), очистки 1...2 сут), созревания (со сбросом первого фильтрата 1...2 сут); всего 32...54 сут. При гидравлическом смыве загрязнений и большой мутности воды фильтроцикл медленного фильтра может быть сокращен в десятки раз.

Площадь медленных фильтров с длительным фильтроциклом определяют расчетом по расходу и нормальной скорости фильтрования 0,1...0,2 м/ч, в зависимости от мутности воды. Скорость фильтрования на медленных фильтрах при форсированном режиме не должна превышать 0,2...0,3 м/ч.

Медленные фильтры при очистке со снятием верхнего слоя песка рекомендуется применять на станциях безреагентной очистки с производительностью < 1000 м³/сут при мутности исходной воды до 50 мг/л. При большей мутности сильно сокращается продолжительность рабочего периода, и фильтры приходится часто чистить. При гидравлическом смыве загрязнений пленки (без удаления песка) на медленных фильтрах можно осветлять воду с большой мутностью – до 1500 мг/л. Их можно применять на станциях с любой производительностью. Когда мутность воды в источнике превышает допустимую, необходимо перед медленными фильтрами воду предварительно осветлять в горизонтальных отстойниках или на предварительных фильтрах (так называемых префильтрах).

Недостатками медленных фильтров являются их значительная строительная стоимость и большая занимаемая ими площадь (при производительности 2000 м³/сут для фильтров необходима площадь 1 га), что главным образом и послужило причиной для отказа от применения их на крупных водоочистных комплексах. Простота эксплуатации (ввиду отсутствия сооружений для коагулирования взвеси) обуславливает целесообразность их использования при известных условиях на малых установках.

6.6. Намывные фильтры

При очистке маломутных (мутность до 40 мг/л) и малоцветных (цветность до 30°) вод для промышленного и коммунального водоснабжения, для снабжения водой в полевых условиях получил распространение метод, основанный на фильтровании через слой специального фильтрующего порошка, предварительно нанесенного на фильтрующую основу. В качестве фильтрующих перегородок используют плоские и цилиндрические пористые керамические, сетчатые и каркасно навитые элементы. В качестве

фильтрующих порошков применяют диатомит, целлюлозу, асбест, бентонит, древесную муку и опилки и др.

Намывные фильтры снижают содержание органических веществ примерно на 50 %, дают хорошие результаты по удалению железа, масел, бактерий. Они, как правило, работают по напорной схеме, реже как гравитационные и вакуумные.

Наружная поверхность фильтрующих элементов служит основой, на которой откладывается слой фильтрующего порошка. Такой слой наносится на фильтрующий элемент перед началом работы фильтра. Для этого производится намыв суспензии фильтрующего порошка. Расход порошка при этом составляет 300...400 г/м² фильтрующей поверхности. На эту операцию затрачивается 3...5 мин. Равномерный слой порошка удерживается на поверхности фильтрующего элемента за счет разницы давлений в корпусе фильтра и внутри фильтрующего элемента.

Известен и другой режим работы фильтра, при котором для предотвращения образования на поверхности фильтрующего слоя малопроницаемой пленки из отфильтрованных веществ в воду непрерывно или периодически (помимо первоначальной зарядки) вводят небольшие количества фильтрующего порошка порядка 3...10 мг/л. Это значительно удлиняет фильтроцикл. Скорость фильтрования назначается 1...50 м/ч (по отношению к фильтрующей поверхности), продолжительность фильтроцикла 36...60 ч, потери напора 0,15...0,2 МПа, расход воды на промывку 0,5...0,7%, продолжительность промывки 15 мин.

Исследования в области изучения закономерности процесса фильтрования с образованием слоя осадка позволяют утверждать, что этот процесс отличается чрезвычайной сложностью, обусловленной воздействием большого числа разнородных факторов. По своей природе эти факторы можно разделить на макро- и микрофакторы. Макрофакторы (перепад давления, вязкость жидкой фазы, концентрация суспензии) поддаются непосредственному измерению, микрофакторы (структура осадка, пористость, поверхностные явления, степень коагуляции и пептизации и т. д.) не могут быть точно определены и математически описаны.

При расчете намывных фильтров обычно используют уравнение, устанавливающее зависимость между макрофакторами, а для влияния микрофакторов вводятся постоянные, определяемые экспериментально (удельное сопротивление осадка, сопротивление фильтровальной перегородки). Современная теория фильтрования с образованием осадка располагает целым рядом уравнений, предназначенных для технологического расчета промышленных установок. Для правильного выбора существующего расчетного уравнения необходимо четкое определение вида и режима рабочего процесса в каждом отдельном случае.

Вид фильтрования определяется соотношением

$$\frac{dR}{dV} = kR^b,$$

где R – общее сопротивление фильтрующей перегородки и слоя, м; V – объем фильтрата, м³; b – показатель степени, зависящий от вида фильтрования (с полным закупориванием пор $b = 2$; с постепенным закупориванием пор $b = 3/2$; промежуточного вида $b = 1$; с образованием осадка $b = 0$); k – коэффициент пропорциональности.

Приведенное уравнение показывает, что интенсивность возрастания общего сопротивления по мере увеличения количества фильтрата пропорционально этому сопротивлению в определенной степени, зависящей от режима фильтрования.

Известно, что при осветлении малоконцентрированных суспензий первой стадией процесса является фильтрование с постепенным закупориванием пор фильтрующей перегородки. Эта стадия заканчивается по достижении определенного отношения объема твердых частиц, задержавшихся в порах, к объему самих пор, после чего наступает стадия фильтрования с образованием осадка.

Следует отметить существенное различие в процессах фильтрования с закупориванием пор и с образованием осадка. Как уже отмечалось выше, фильтрование с закупориванием пор сопровождается выделением частиц суспензии внутри капилляров перегородки. Очевидно, что производительность фильтра в этом случае существенно зависит от объема пор, в которых осаждаются частицы.

Глава 7. Обеспечение санитарно-гигиенических требований к воде

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, полиовирусы, 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).

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, маганцевокислого калия, гипохлорита натрия и кальция. На практике предпочитают использовать хлор, хлорную известь, гипохлорит натрия и кальция, озон.

Таблица 7.1

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

Гидролиз хлора происходит по реакции: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCl} + \text{HClO}$

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

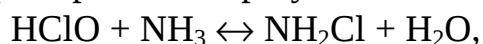
рН	4	5	6	7	8	9	10	11
OCl^-	0,05	0,5	2,5	21,0	75,0	97,0	99,5	99,9
HOCl	99,95	99,5	97,5	79,0	25,0	3,0	0,5	0,1

При использовании вместо хлора хлорной извести протекает реакция:

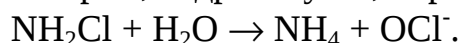


Доза вводимого хлора должна быть больше величины хлоропоглощаемости на величину остаточного хлора, присутствие которого является гарантией того, что оксидация бактерий и органических веществ в воде практически завершена.

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.

Таблица 7.2

Технические характеристики вакуумных хлораторов

Тип хлоратора	Производительность по хлору, кг/ч	Диаметр патрубка, подводящего воды к эжектору, мм	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			высота	ширина	глубина	
ЛОНИИ-СТО с ротаметром РС-3	0,08-2,05	25	830	650	160	41
ЛОНИИ-СТО с ротаметром РС-5	1,28-20	50	830	650	41	
ЛК-10м	0,4-0,8	50	630	230	160	12,5
ЛК-10б	2-20	50	800	370	250	15

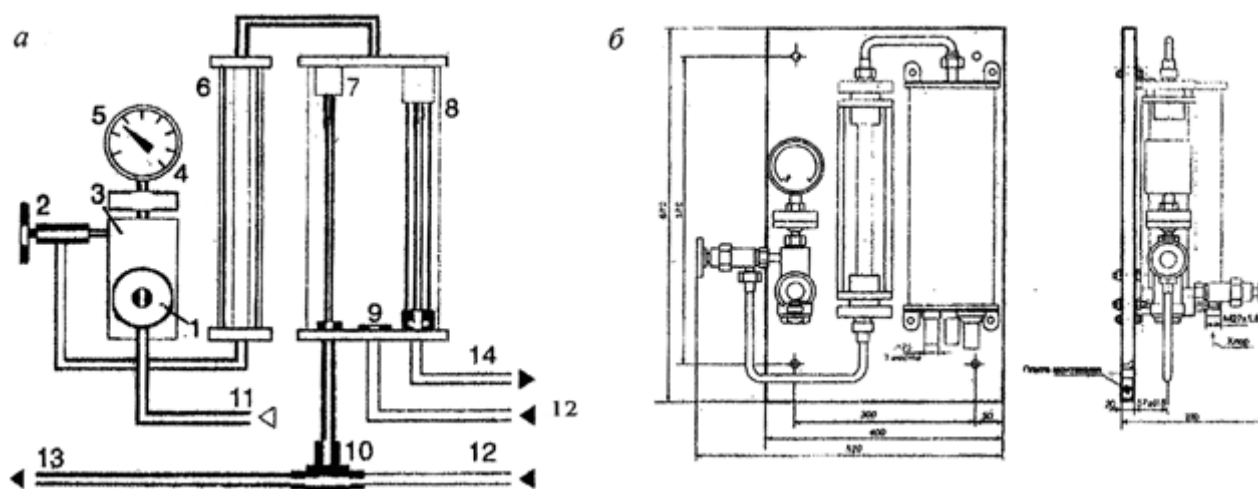


Рис. 7.1. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) хлоратора АХВ-1000 специализированного предприятия КРАВТ:

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

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

С одного стандартного баллона при комнатной температуре можно получить не более 0,5-0,7 кг 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).

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.

Состав установок следующий: бункер-сатуратор для получения концентрированного раствора NaCl с автоматическим контролем уровня, бак разбавленного рабочего раствора, бездиафрагмовые электролизеры, насос-дозатор разбавленного раствора, емкость для накопления гипохлорита натрия (также с автоматическим контролем уровня), насос-дозатор раствора NaClO (концентрацией 6-8 г/л) в обрабатываемую воду, узел умягчения и подогрева технологической воды, трансформатор, выпрямитель, пульт управления, система вентиляции, узел периодической промывки от отложений в электролизерах 3 % раствором HCl.

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 сульфуголь.

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 предотвратить загрязнения водоисточников и возможное образование ЛХС и хлороформа в процессе водообработки.

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

Озонирование воды основано на применении озона, который легко разлагается с образованием атомарного кислорода, являющегося одним из наиболее сильных окислителей. Он уничтожает бактерии, споры, вирусы и обесцвечивает и дезодорирует воду, окисляя органические загрязнения.

Озон не изменяет природные свойства воды, т.к. его избыток быстро разлагается, превращаясь в кислород.

Озон получают из атмосферного воздуха в аппаратах, называемых озонаторами. Предварительно осушенный, очищенный и охлаждённый воздух поступает в озонатор, в котором происходит разряд коронного типа, в результате которого образуется озон. Доза озона принимается при введении его в фильтрованную воду с целью обеззараживания ~1-3 мг/л; а для подземной воды, не требующей очистки, ~0,75-1 мг/ л.

При необходимости обесцвечивания и дезодорации воды доза озона может достигать до 4 мг/ л. Время контакта воды с озоном 6-12 мин.

Обеззараживания воды можно достигнуть путём её обработки **ультрафиолетовыми лучами**.

Обеззараживание воды бактерицидными лучами имеет преимущества перед хлорированием, так как природные вкусовые качества и химические свойства воды не изменяются. Бактерицидное действие лучей протекает во много раз быстрее, чем хлора; после облучения воду сразу можно подавать потребителям. Бактерицидные лучи уничтожают не только вегетативные виды бактерий, но и спорообразующие. Эксплуатация установок для обеззараживания воды бактерицидными лучами проще, чем хлорного хозяйства.

Наибольшим бактерицидным эффектом обладают ультрафиолетовые лучи с длиной волны 200-295 мкм. Эту область ультрафиолетового излучения называют бактерицидной. Источниками бактерицидного излучения служат выпускаемые отечественной промышленностью аргонртутные лампы низкого давления и ртутно-кварцевые лампы высокого давления.

Многолетний опыт эксплуатации установок обеззараживания воды бактерицидными лучами показывает, что этот метод обеспечивает надёжную дезинфекцию воды. Эксплуатационные расходы на обеззараживание воды облучением не превышают эксплуатационных затрат на хлорирование, а на водопроводах, использующих в качестве источников водоснабжения подземные,

родниковые и подрусовые воды, обеззараживание облучением дешевле в 2-3 раза по сравнению с хлорированием. Расход электроэнергии на обеззараживание воды из подземных источников водоснабжения облучением не превышает 10-15 Вт.ч/м³. Расход электроэнергии на облучение обработанной воды из открытых источников водоснабжения составляет до 30 Вт.ч/ м³.

Недостатком рассматриваемого метода обеззараживания является невозможность оперативного контроля за эффектом обеззараживания в отличие от хлорирования (по остаточному хлору).

Глава 8. Дезодорация воды

Дезодорация – удаление из воды неприятных запахов и привкусов и улучшение вкусовых качеств воды.

Привкусы и запахи вызывают неорганические и органические вещества *естественного и искусственного* происхождения. К естественным относятся органические вещества биологического происхождения, возникающие в результате отмирания и разложения высших водных растений, планктона, бентоса, бактерий, грибов. При этом в воду выделяются низкомолекулярные спирты, карбоновые кислоты, кетоны, альдегиды, фенолсодержащие вещества с сильным запахом. Органические вещества способствуют развитию микроорганизмов, выделяющих H₂S, NH₃, органические сульфиды, меркаптаны. Интенсивное обогащение воды органическими веществами происходит во время «цветения» водоёмов.

Присутствующие в северных водах и водах средней полосы России гуминовые и фульвокислоты, лигнины и другие органические вещества естественного происхождения служат одним из источников образования фенолов. При хлорировании воды с фенолами образуются диоксины (ядовитые вещества, доза которых $3,1 \cdot 10^{-9}$ моль/кг смертельна; доза около $\sim 10^{-17}$ моль/кг влияет на иммунную систему и репродуктивную функцию организма).

Искусственные запахи и привкусы воды возникают в связи со сбросом в водоёмы промышленных сточных вод, несмотря на законодательные меры, запрещающие сброс неочищенных сточных вод. Вода загрязняется минеральными и органическими соединениями: солями тяжёлых металлов, нефтью и её продуктами, фенолами, кислотами, СПАВ и др. Поверхностный смыв с сельскохозяйственных угодий загрязняет природные воды пестицидами, гербицидами, нефтепродуктами и т.д.

Привкусы и запахи вызываются также в процессе очистки воды при хлорировании, передозировке реагентов или в результате неправильной эксплуатации очистных сооружений. На очистных сооружениях могут задерживаться только те вещества, вызывающие запахи и привкусы, которые находятся в воде в виде взвеси и коллоидов или переходят в нерастворимую форму в процессе очистки и предварительной обработки хлором (например,

эмульгированные фракции нефти, плохо растворимые пестициды, некоторые металлы).

Дезодорация в этом случае достигается коагулированием и флокулированием примесей с последующим фильтрованием.

Однако часто для устранения запахов и привкусов требуется применение специальных технологий. Характер примесей (их состояние: взвеси, коллоиды, растворённые газы, истинные растворы) диктует методы очистки, которые сводятся к следующим: коллоиды и взвеси удаляются коагулированием с последующим отстаиванием и фильтрованием; запахи и привкусы, обусловленные содержанием неорганических веществ в молекулярном и ионном состояниях, удаляются корректированием минерального состава (опреснением, обезжелезиванием, дегазацией и др.). Также применяются такие методы очистки как окисление, адсорбция, аэрирование. В условиях интенсивного загрязнения водоёмов дезодорировать воду следует, сочетая методы окисления и адсорбции, а также аэрированием, при котором удаляются летучие соединения.

Аэрирование воды производят в специальных установках-аэраторах вакуумно-эжекционного, барботажного, разбрызгивающего и каскадного типов. Аэрация должна осуществляться до ввода окислителей во избежание их потерь. В вакуумно-эжекционном аппарате за счет большой скорости движения воды в вакуумной камере происходит резкое понижение давления, способствующее почти полной десорбции растворенных в ней газов, а в последующих эжекционных камерах за счет подсоса воздуха извне происходит окисление кислородом некоторых ароматических веществ. В аэраторах барботажного типа распределение воздуха в воде обеспечивается перфорированными трубами, пористыми пластинами или трубами. В разбрызгивающих аэраторах (брызгальных бассейнах) аэрируемая вода распыляется соплами на мелкие капли, что способствует увеличению поверхности ее контакта с воздухом. В аэраторах каскадного типа аэрируемая вода падает струями через несколько последовательно расположенных водосливов.

Окислением хорошо удаляются вещества с сильными восстановительными свойствами: фенолы, дубильные вещества, гуминовые кислоты и др. В некоторых случаях запахи и привкусы усиливаются при окислении. В практике водоподготовки применяют следующие окислители: озон, перманганат калия, хлор и его производные. Дозы окислителей зависят от качественного состава исходной воды, уровня и вида органических загрязнений и назначаются на основании предварительных испытаний технологии на конкретной воде. Применение окислителей как самостоятельного метода для устранения органических загрязнений из воды должно быть обосновано с точки зрения возможно образования побочных наиболее опасных для здоровья людей продуктов. В этом плане наиболее предпочтителен окислительно-сорбционный метод дезодорации.

Адсорбция является более универсальным методом дезодорации, однако следует учитывать, что сорбенты избирательны при извлечении из воды различных веществ. Хорошо сорбируются гидрофобные вещества и слабо гидратированные. К ним относятся молекулярно-растворимые соединения и слабые электролиты (например, фенолы). Более сильные и полярные органические соединения (спирты, альдегиды, кетоны и др.) сорбируются менее эффективно. Требуется повышенный расход угля.

В практике подготовки питьевых вод для извлечения из них органических веществ, обусловливаемых привкусы и запахи, широко используются неполярные адсорбенты. При адсорбции из растворов органических примесей предпочтение отдается активированным углям, поскольку вода (растворитель), характеризующаяся большим поверхностным натяжением на границе раздела фаз с поверхностью зерен угля, ничтожно мало адсорбируется. Доза угля при статической адсорбции определяется по формуле:

$$D_y = \frac{C_o - C_\phi}{T}, \text{ г/м}^3,$$

где C_o и C_ϕ – соответственно концентрации адсорбируемого вещества до и после адсорбции, T – удельная адсорбция в мг/л в точке, соответствующей C_ϕ .

Скорость адсорбции органических веществ из воды зависит от структуры угля, удельной поверхности гранул (зерен), условий массообмена с обрабатываемой водой и pH воды. Если в растворе присутствуют одновременно несколько веществ, адсорбция протекает по закону вытеснения. По мере увеличения числа удаляемых из воды веществ, доля адсорбции каждого из них уменьшается. Степень адсорбируемости различных веществ из воды оценивается величиной уменьшения свободной энергии $\Delta F_{адс}$.

Наряду с углеванием (статические условия) дезодорацию воды на станциях различной производительности производят на стационарных адсорберах в динамических условиях - путем фильтрования исходной воды через слой гранулированного угля. В напорных конструкциях фильтров высота слоя загрузки составляет 2,5-3 м, а скорость фильтрования – до 20-30 м/ч. В открытых фильтрах эти величины колеблются соответственно в пределах 1-2 метра и 10-15 м/ч. Диаметр гранул углей марок АГ-3, АГ-5 – 1-2 мм. Важными характеристиками загрузки адсорбера являются динамическая емкость E_d , мг-экв/г (до начала проскока адсорбируемого вещества в фильтрат) и полная емкость $E_{полн}$, мг-экв/г (после прекращения извлечения адсорбируемого вещества из воды).

Регенерацию угольных загрузок стационарных адсорберов осуществляют десорбцией с помощью щелочей или кислот, в процессе которой ранее адсорбированные углями вещества переходят в раствор. При проведении адсорбции в кислой или нейтральной среде регенерацию производят раствором щелочей. При протекании адсорбции в щелочной среде, отработанный слой

угля регенерирует с помощью кислот. Однако, следует отметить, что нейтральные органические соединения из угольного слоя вымываются незначительно. Поэтому более полное восстановление адсорбционной способности углей достигают его термической обработкой при температуре обжига не менее $800\div 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При отсутствии пахнущих веществ биологического происхождения на углях различных марок (БАУ, КАД и др.) отличающихся величиной пор, интенсивность запаха воды существенно уменьшается с увеличением дозы от 2 до 20-35 мг/л при $\text{pH} = 4\text{-}12$ и температуре воды от $+6$ до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В зависимости от адсорбционной способности активных углей и интенсивности загрязнения воды веществами, придающими ей неприятные привкусы и запахи, расходы углей могут колебаться в весьма широких пределах – от десятой доли миллиграмма до 1000 мг/л. Наиболее используемые дозы угля при углевании природных вод находятся в пределах 3-15 мг/л. Так, при дезодорации воды, загрязненной веществами, придающими привкусы и запахи биологического происхождения, их полное устранение с помощью угля марки ОУ-А_щ достигалось при дозах 10-12 мг/л.

На практике процесс углевания включает в себя операции замачивания пылевидного угля, создания угольной суспензии с содержанием угля до 2,5-5 % и ее дозирования в обрабатываемую воду. Активированный уголь вводят за 10-15 минут до ввода других реагентов. Требуемое время контакта адсорбента с обрабатываемой водой – не менее 15-20 минут.

Известен метод очистки природных вод от загрязнений природного и антропогенного характера – **биосорбция**, который реализуется на специальных аппаратах – биосорберах. Принцип работы биосорбера заключается в совмещении в пространстве и во времени процессов сорбции загрязнений с их биологическим окислением. Механизм этого процесса протекает через стадии: адсорбция загрязнений из воды в микропористой структуре сорбента, биохимическая модификация адсорбированных трудноокисляемых веществ в биоразлагаемую форму экзоферментами, иммобилизованными в этой же структуре, десорбцию биоразлагаемых модифицированных продуктов на поверхность частиц сорбента, биологическое окисление биоразлагаемых продуктов микроорганизмами биопленки на поверхности частиц сорбента. Этот процесс обеспечивает постоянную биологическую регенерацию сорбента и исключает необходимость его периодической термической регенерации или замены.

Наиболее перспективно применять биосорберы на стадии предочистки при дальнейшей обработке воды по традиционной схеме. Использование биосорберов на начальной стадии очистки позволяет снизить уровень природных загрязнений и удалить такие специфические загрязнения как нефтепродукты, СПАВ, хлорорганические и фосфорорганические соединения. Одним из ограничивающих параметров применения биосорберов для очистки природных вод является мутность обрабатываемой воды до 10-100 мг/л.

Конструктивно биосорбер представляет собой вертикальную колонну,

снабженную водосборной и водораспределительными системами. Водораспределительная система биосорбера соединена с аэрационной колонной. В зависимости от местных условий биосорбер может работать как однопроходное сооружение или может быть снабжен циркуляционным контуром с насосом. Очищаемая вода сначала поступает в аэрационную колонну, где происходит ее насыщение кислородом воздуха, затем поток жидкости поступает в нижнюю водораспределительную систему биосорбера, равномерно распределяется по площади сооружения и поднимается вверх со скоростью, обеспечивающей псевдооживление загрузочного материала. Это создает оптимальные условия для интенсивного протекания процессов развития иммобилизованных микроорганизмов и биологического окисления органических загрязнений. Развитая поверхность гранулированного активированного угля способствует увеличению биомассы микроорганизмов в сооружении, что, в свою очередь, обеспечивает высокую производительность установки и стабильность работы. Время обработки воды на биосорберах составляет 15-25 минут.

Глава 9. Фторирование и обесфторивание воды

Содержание фтора в питьевой воде, согласно СанПиН, в зависимости от климатических условий должно поддерживаться в пределах 0,7-1,5 мг/л. Недостаток фтора в питьевой воде приводит к кариесу зубов у населения, избыток – к флюорозу зубов. **Фторирование воды** осуществляют химическим методом с применением фторсодержащих реагентов.

В качестве фторсодержащих реагентов можно использовать: кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6), кремнефтористоводородную кислоту (H_2SiF_6), фтористый натрий (NaF), кремнефтористый аммоний $[(\text{NH}_4)_2 \text{SiF}_6]$, фтористый кальций (CaF_2), фтористоводородную кислоту (HF), кремнефтористый калий (K_2SiF_6), кремнефтористый алюминий $[\text{Al}_2 (\text{SiF}_6)_3]$, фтористый алюминий (AlF_3) и др. В отечественной практике широкое применение получил кремнефтористый натрий. Это мелкий, сыпучий, негигроскопический кристаллический порошок белого цвета, без запаха, удобен в эксплуатации. Плотность его $2,7 \text{ г/см}^3$, рН насыщенного раствора 3,5-4,0. В воде растворяется плохо. Самый дешёвый из всех перечисленных реагентов фтористый кальций, но он имеет крайне низкую растворимость в воде (0,0016 г на 100 мл при 25°C).

Дозу фторсодержащего реагента, г/м^3 , рассчитывают по формуле:

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

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; $a_{\text{ф}}$ – необходимое содержание фтора в обработанной воде, мг/л, в зависимости от климатического района расположения населенного пункта (для средней полосы России $a_{\text{ф}} = 1$ мг/л – для зимнего периода); Φ – содержание фтора в исходной воде, мг/л; $K_{\text{ф}}$ – содержание фтора в чистом реагенте, %; $C_{\text{ф}}$ – 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 растворно-затворными баками; с применением кремнефтористоводородной кислоты.

На установках сатураторного типа в качестве реагента применяют порошкообразный кремнефтористый натрий, который вводят в воду перед хлорированием. Предварительно реагент замачивают и размешивают в ёмкости, а затем выливают в сатуратор (примерно один раз в смену). В основе работы сатуратора положен принцип объёмного вытеснения.

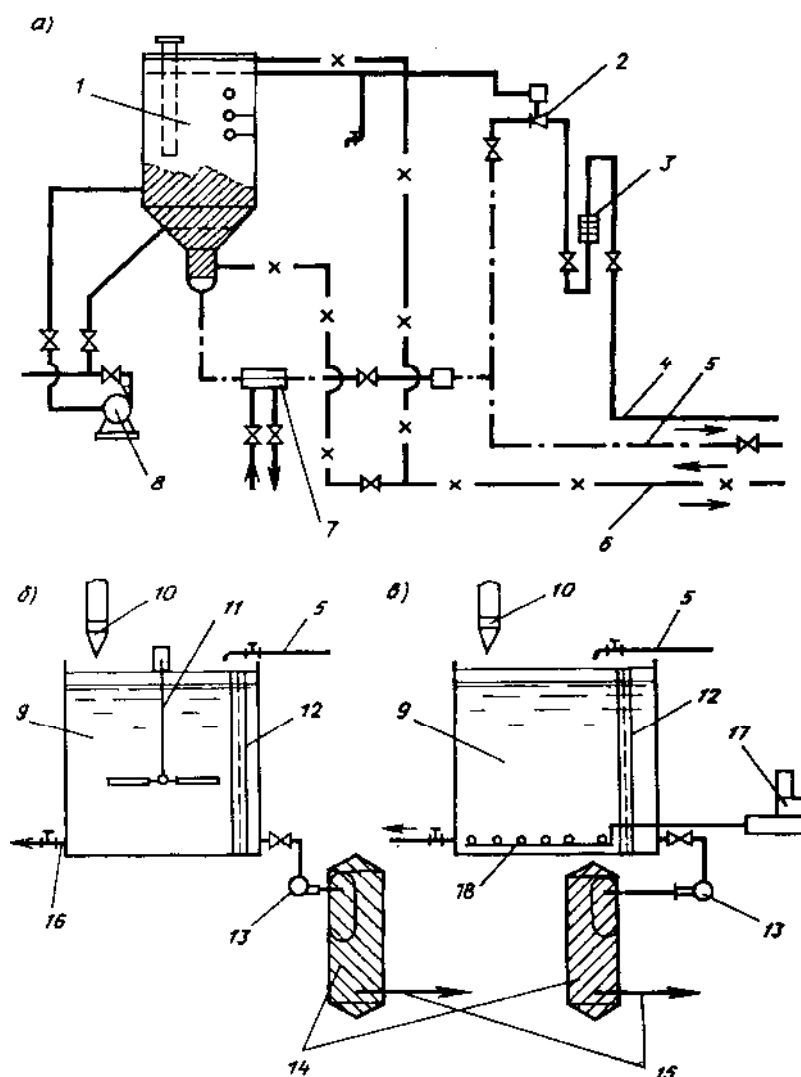


Рис. 9.1. Схема фтораторной установки сатураторного типа (а), с растворными баками с механическим побуждением (б) и с барбатируванием (в):

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 (вариант); 15 – отвод фторсодержащего раствора; 16 – сброс осадка; 17 – воздуходувка; 18 – воздухораспределительная система.

Во фтораторных установках с растворными баками в качестве реагента используют кремнефтористый натрий. Загрузку в баки реагентов осуществляют с помощью бункеров, оборудованных вибраторами и дозаторами объёмного типа. Для лучшего растворения реагента баки снабжены мешалками с частотой вращения 50-60 мин⁻¹, возможно перемешивание сжатым воздухом. Время перемешивания 2 ч, время отстаивания 2 ч. Концентрация раствора реагента в баках оставляет 0,05 % по фтору или 0,008 % по чистой соли.

Фтораторные установки с затворно-растворными баками состоят из системы баков: затворного, двух растворных и дозирующего бака, снабжённого поплавковым клапаном. Затворный и растворные баки оборудованы электросмесителями. Растворяют фтористый натрий в воде, нагретой до 75-80°C.

При применении 8% кремнефтористоводородной кислоты она из автомобильной или железнодорожной цистерны, в которой транспортируется, с помощью воздуходувок передавливается в стационарные складские цистерны, а из них поступает в бак-мерник, откуда эжектором дозируется в воду.

В зарубежной практике фтористые соединения вводятся в воду в сухом виде – непосредственно порошком, сухими дозаторами, через растворную камеру или в жидком виде – дозаторами для растворов. Первый способ обычно реализуют на водоочистных комплексах большой производительности, второй – на установках малой производительности.

Для **обесфторивания воды** может быть использован ряд методов, 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.); магнезиальные сорбенты (оксифториды магния); активированные угли (БАУ, КАД); алюмомодифицированные материалы и др.

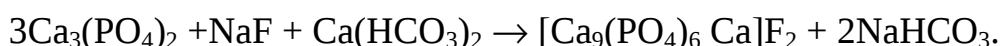
Методы сорбции фтора осадком гидроксида алюминия или магния, а также фосфата кальция, которые целесообразно применять при обработке поверхностных вод, когда кроме обесфторивания требуется ещё их осветление и обесцвечивание. Вместе с тем метод находит применение для обработки подземных вод при необходимости одновременного умягчения воды

реагентным методом.

Процесс сорбции фтора свежееобразованным гидроксидом магния при $pH = 9$ протекает быстро и интенсивно, практически не зависит от температуры и заканчивается за 8-12 мин, сорбционная способность гидроксида магния может быть использована более полно путём пропуска обрабатываемой воды через его взвешенный слой. Рекомендуется скорость восходящего движения воды в осветлителях 0,2-0,3 мм/с. Высота слоя осадка принимается 2-2,5 м. Время пребывания воды в слое контактного осадка не менее 1ч. При этом расход магния на удаление одного мг фтора – около 30 мг.

Обесфторивание воды солями алюминия целесообразно проводить при низких значениях $pH = 4,3-5$. В этом случае в осадке преимущественно находится основной сульфат алюминия – $Al(OH)SO_4$ 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 свежееобразованным 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.

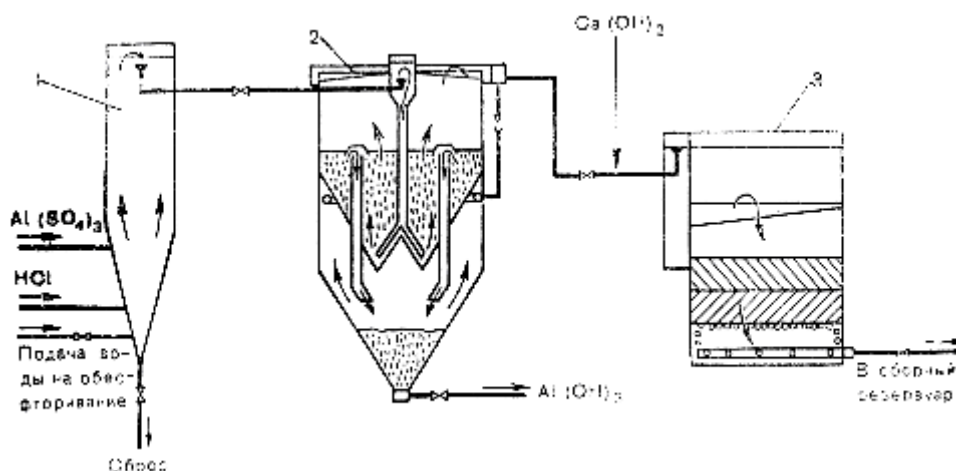


Рис. 9.2. Технологическая схема обесфторивания воды сорбцией осадком гидроксида алюминия:

1 – смеситель; 2 – осветлитель со взвешенным осадком и поддонным осадкоуплотнителем;

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.

Дефторирование воды активированным оксидом алюминия (дефлюоритом) обеспечивает высокий эффект удаления фтора из подземных вод. Зернистый активированный оксид алюминия (ЗАОА) является наиболее дешёвым сорбентом, простым в изготовлении и ёмким по поглощению фтора. При фильтровании обрабатываемой воды со скоростью 5-7 м/ч через ЗАОА происходит поглощение фтора сорбентом в результате обмена сульфат-ионов на фтор-ионы. Регенерация сорбента производится пропуском через него 1-1,5%-ного раствора сульфата алюминия. Ёмкость поглощения 1 г ЗАОА составляет 2-2,5 мг фтор-ионов.

Описанный процесс осуществляется на скорых напорных или открытых фильтрах, или контактных осветлителях, загруженных ЗАОА. Помимо фильтров установка по удалению фтора из воды должна иметь реагентное хозяйство для приготовления регенерационных растворов, баки для воды, используемой для взрыхления и отмывки сорбента. Обесфторивание воды по данному методу характеризуется наибольшим технико-экономическим эффектом, так как себестоимость обработки воды здесь минимальная, по сравнению со всеми ранее рассмотренными методами.

Для подземных вод, не требующих осветления и обесцвечивания, возможно обесфторивание с применением сильноосновных анионитов. По экономическим соображениям это целесообразно при необходимости одновременного опреснения воды.

Глава 10. Обезжелезивание и деманганация воды

10.1. Обезжелезивание воды

Под **обезжелезиванием** или **деферризацией** понимают процесс извлечения из подземных и поверхностных вод соединений 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. Повышенное содержание соединений железа в природной воде в концентрациях, превышающих нормативные, делает ее не пригодной для питья и использования в технологических процессах отдельных производств

текстильной, химической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

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.

Из используемых безреагентных методов обезжелезивания воды перспективными являются: 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, окислация, 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).

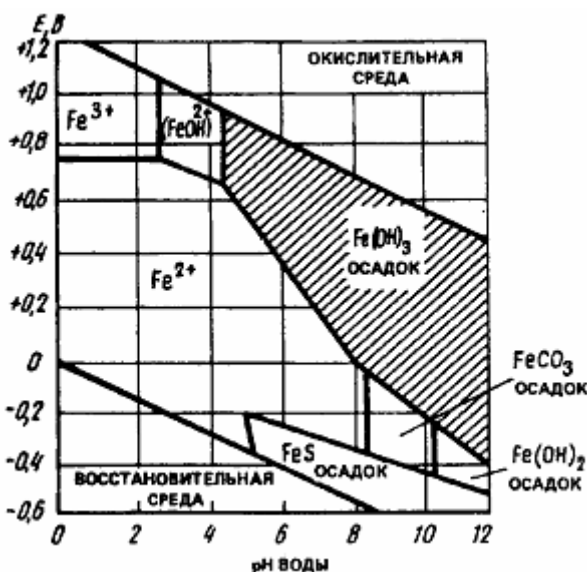


Рис. 10.1. Диаграмма Пурбе для железа

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, градири, 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-эжекторная 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-эжекторной 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 сернистого 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 упрощённую 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.

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 окислации 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 окислации 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 pH 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. Первой стадией процесса является фильтрование с постепенным закупориванием пор фильтрующей перегородки. Эта стадия заканчивается по достижении определённого соотношения объёма твёрдых частиц, задержанных в порах, к объёму самих пор, после чего наступает вторая стадия – фильтрование с образованием первоначального слоя

осадка. На этом заканчивается процесс зарядки фильтра и начинается фильтрование с целью обезжелезивания воды.

Обезжелезивание воды упрощённой аэрацией, хлорированием и фильтрованием заключается в удалении избытка углекислоты и обогащении воды кислородом при аэрации, что способствует повышению pH и первичному окислению железоорганических соединений. Окончательное разрушение комплексных соединений железа (II) и частичная его оксидация достигаются 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.

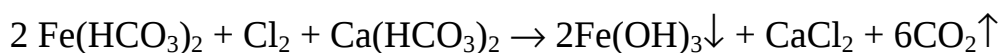
Обезжелезивание воды фильтрованием через модифицированную загрузку применяют при её повышенной окисляемости. Оно основано на увеличении сил адгезии путём воздействия на молекулярную структуру поверхности зёрен фильтрующей загрузки. Для увеличения сил адгезии необходимо на поверхности зёрен фильтрующей 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 методом напорной флотации основано на действии молекулярных сил, способствующих слипанию отдельных частиц гидроксида железа с пузырьками тонкодиспергированного в воде воздуха и всплыванию образующихся при этом агрегатов на поверхность воды. Можно выделить следующие стадии процесса: оксидация железа (II); растворение воздуха в воде и образование пузырьков; образование комплексов «пузырёк воздуха – хлопья гидроксида железа»; подъём этих комплексов на поверхность воды. На эффективность процесса всплывания хлопьев при флотационном разделении оказывают влияние концентрация взвешенных веществ (исходная концентрация железа, доза извести), количество и размер пузырьков, продолжительность флотации, а также гидродинамические условия.

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:

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

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

Окисление двухвалентного железа перманганатом калия описывается следующим уравнением:



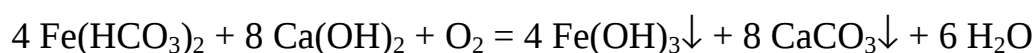
Расчетная доза перманганата калия, мг/л:

$$D_n = [\text{Fe}^{2+}],$$

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

Концентрация рабочего раствора перманганата калия принимается в пределах 20-30% растворимости KMnO_4 при данной температуре.

При аэрации и известковании протекает химическая реакция, описываемая уравнением:



Ориентировочно дозу извести (в пересчете на CaO), мг/л, рассчитывают по формуле:

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

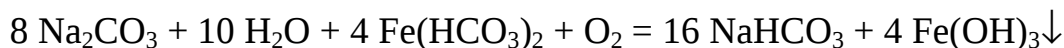
При обезжелезивании поверхностных вод, предусматриваемым одновременно с их осветлением и обесцвечиванием, дозу *извести* (в пересчете на CaO), мг/л, определяют по формуле:

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

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:



Доза соды в пересчете на Na_2CO_3 , мг/л, вычисляется по формуле:

$$D_c = 2,5 [\text{CO}_2] + 4 [\text{Fe}^{2+}],$$

где $[\text{CO}_2]$ и $[\text{Fe}^{2+}]$ – концентрация соответственно свободной углекислоты и двухвалентного железа в исходной воде, мг/л.

Расчетная концентрация раствора соды – 5%.

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.

10.2. Удаление марганца из воды

Требования, предъявляемые к содержанию марганца в воде, используемой в технологических процессах некоторых производств (текстильной, бумажной и других отраслей промышленности) и подаваемой хозяйственно-питьевыми централизованными водопроводами ($\text{Mn}^{2+} \leq 0,1$ мг/л), вызывают необходимость деманганизации воды.

В подземных водах марганец чаще всего встречается в форме бикарбоната $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$, хорошо растворимого в воде, в концентрациях от 0,5 до 4 мг/л.

Источниками попадания марганца в поверхностные водотоки, преимущественно в виде MnSO_4 являются сточные воды промышленных предприятий. При наличии в поверхностных водах гумусовых соединений, марганец присутствует в виде устойчивых, трудно окисляемых органических комплексов.

Эффективность процесса окисления двухвалентного марганца в диоксид марганца зависит от соотношения окислительно-восстановительного потенциала E и pH воды, описываемые диаграммой Пурбе.

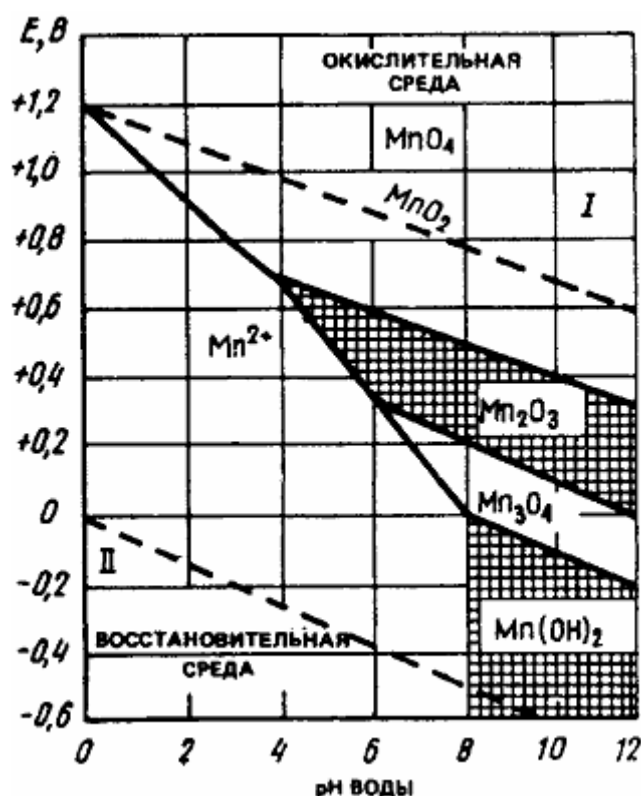


Рис. 10.2. Диаграмма Пурбе для марганца

Выбор метода деманганации 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 10.1

Условия применения методов деманганации и их сущность

Метод	Условия применения	Сущность метода
Аэрация с последующим фильтрованием через «черный» песок, пиролюзит, марганцевый катионит	При наличии в воде марганца и железа воду, подаваемую на марганцевый катионит, необходимо предварительно обезжелезивать	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

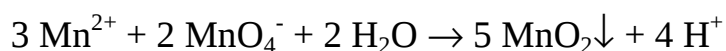
		использованием катализаторов являются значительный расход KMnO_4 , постепенное измельчение и проскок в фильтрат частиц покрытия зерен.
Обработка сильными окислителями с последующим коагулированием, отстаиванием (при необходимости) и фильтрованием	Требуется подщелачивание воды до pH 8-8,5; Использование 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 деманганации 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 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 (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 фильтрованием	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 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 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+}

Эффективным и технологически простым методом деманганизации, не требующим сложного оборудования для приготовления и дозирования, является обработка воды перманганатом калия.

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:



Для окисления 1 мг Mn^{2+} требуется 1,88 мг $KMnO_4$.

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.

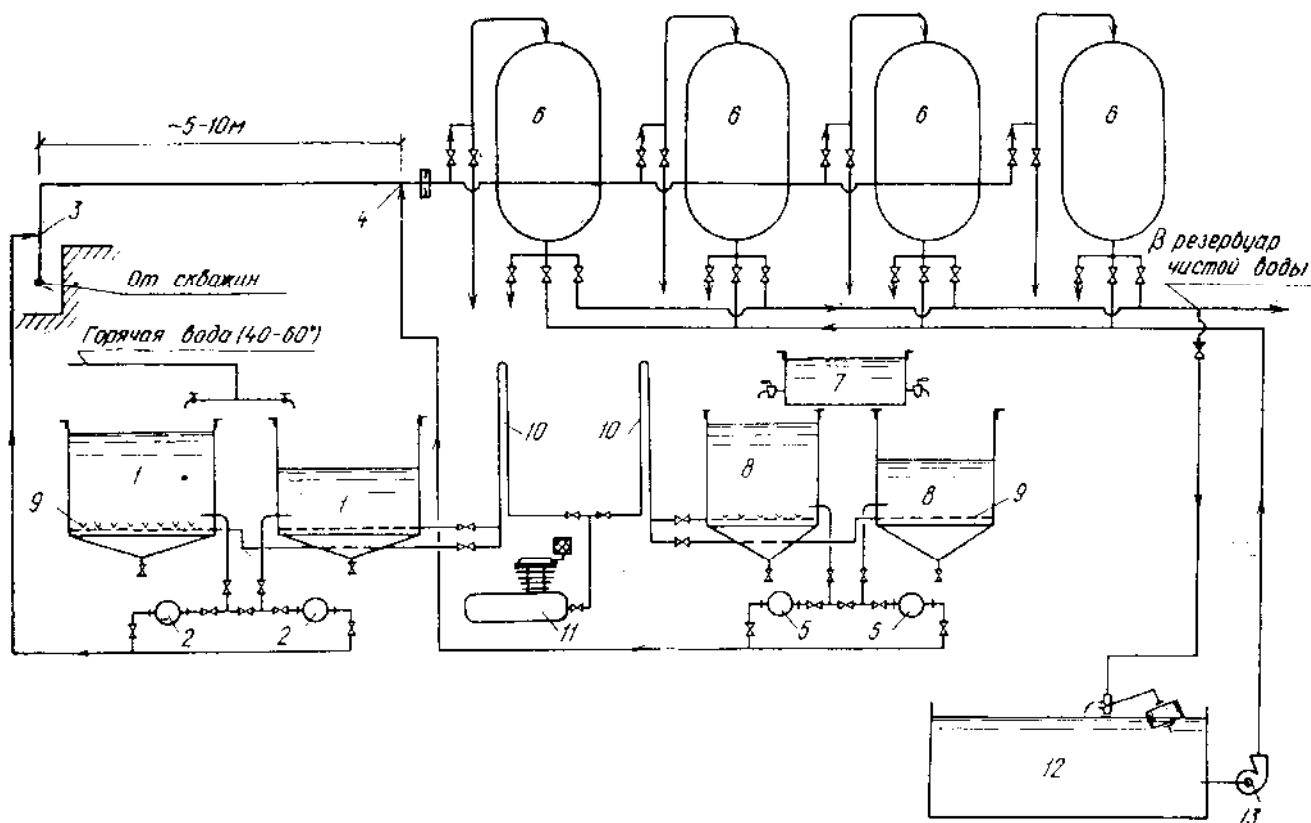


Рис. 10.3. Схема установки для удаления марганца из подземной воды перманганатом калия: 1 – растворные баки KMnO_4 ; 2, 5 – насосы-дозаторы; 3 – ввод раствора KMnO_4 ; 4 – ввод активированной кремнекислоты; 6 – фильтры; 7 – растворный бак серной кислоты; 8 – растворные баки активированной кремнекислоты; 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.

Глава 11. Умягчение воды

Под **умягчением** воды понимают процесс снижения концентрации катионов кальция и магния, обуславливающих жесткость воды.

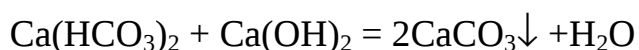
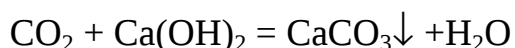
Различают жесткость общую (J_o), карбонатную (J_k) и некарбонатную ($J_{нк}$).

Карбонатная жесткость обусловлена содержанием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, некарбонатная жесткость – содержанием в воде кальциевых и магниевых солей серной, соляной и азотной кислот.

В соответствии с действующими нормативами величина жесткости в воде питьевого качества не должно превышать 7 мг-экв/л. Существует ряд методов умягчения (реагентный, ионного обмена (катионитовый), диализ, термический, комбинированный), выбор которых определяется качеством воды, необходимой глубиной умягчения и технико-экономическими соображениями.

Реагентный метод умягчения заключается в связывании ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} химическими веществами в малорастворимые соединения: $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$ и др. В зависимости от применяемого реагента различают: известковый ($Ca(OH)_2$), известково-содовый ($Ca(OH)_2 + Na_2CO_3$), содово-натриевый ($Na_2CO_3 + NaOH$), бариевый ($BaCO_3$ или $Ba(OH)_2$), фосфатный (Na_3PO_4) и другие способы реагентного умягчения.

Для частичного устранения карбонатной жесткости применяют умягчение воды *известкованием*, которое описывается следующими основными реакциями:



Доза извести, в мг/л, определяется для двух расчетных случаев в зависимости от соотношения концентрации в воде Ca^{2+} и карбонатной жесткости:

$$a) [Ca^{2+}]/20 < J_k, \quad D_{и} = 28 \left(\frac{[CO_2]}{22} + 2 J_k - \frac{[Ca^{2+}]}{20} + \frac{D_k}{e_k} + 0,5 \right),$$

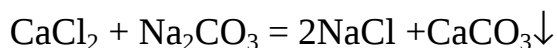
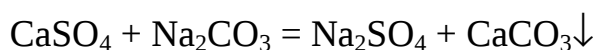
$$б) [Ca^{2+}]/20 > Ж_{\kappa}, \quad D_u = 28 \left(\frac{[CO_2]}{22} + Ж_{\kappa} + \frac{D_{\kappa}}{e_{\kappa}} + 0,3 \right),$$

где $[CO_2]$, $[Ca^{2+}]$ – концентрации в воде свободной двуокиси углерода и ионов кальция соответственно, мг/л; $Ж_{\kappa}$ – карбонатная жесткость воды, мг-экв/л; D_{κ} – доза коагулянта ($FeSO_4$ в пересчете на безводный продукт), мг/л; e_{κ} – эквивалентная масса активного вещества коагулянта (для $FeSO_4$ – 67 мг/мг-экв); 0,5 и 0,3 – избыток извести для обеспечения большей полноты реакции, мг-экв/л.

Выражение D_{κ}/e_{κ} берут со знаком "+", если коагулянт вводится в воду после извести или одновременно с ней, и со знаком "-" при введении коагулянта до извести.

Снижение некарбонатной жесткости наряду с карбонатной может быть достигнуто применением известково-содового способа умягчения воды.

При введении в воду гашеной извести происходит нейтрализация свободной углекислоты и распад бикарбонатов, а добавление в умягчаемую воду раствора соды способствует снижению некарбонатной жесткости:



Дозу извести и соды, мг/л, определяют по следующим формулам:

$$D_u = 28 \left(\frac{[CO_2]}{22} + Ж_{\kappa} + \frac{[Mg^{2+}]}{12} + \frac{D_{\kappa}}{e_{\kappa}} + 0,5 \right),$$

$$D_c = 53 \left(Ж_{нк} + \frac{D_{\kappa}}{e_{\kappa}} + 1 \right),$$

где $Ж_{нк}$ – некарбонатная жесткость, мг-экв/л; $[Mg^{2+}]$ – концентрация в воде ионов магния, мг/л.

Наличие в обрабатываемой воде органических примесей усложняет процесс известково-содового умягчения воды.

Содово-натриевый способ умягчения воды применяют в случаях, когда карбонатная жесткость больше некарбонатной. При условии $Ж_{Ca} + Ш_{изб} = 2 Ж_{\kappa}$ + CO_2 , достаточно использование одного $NaOH$, где $Ж_{Ca}$ – кальциевая некарбонатная жесткость, мг-экв/л; $Ш_{изб}$ – заданная щелочность умягченной воды, мг-экв/л; $2 Ж_{\kappa}$ – количество соды, образующейся при взаимодействии

едкого натрия с карбонатной жесткостью, мг-экв/л; CO_2 – содержание свободной углекислоты в умягчаемой воде, мг-экв/л.

Необходимую дозу, мг/л, едкого натрия определяют по формуле:

$$D_{e.n.} = 40 \left(J_k + \frac{[\text{CO}_2]}{22} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + \frac{D_k}{e_k} + 0,35 \right).$$

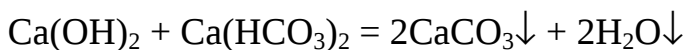
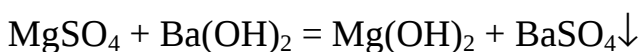
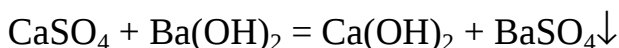
При введении коагулянта до едкого натрия знак выражения D_k/e_k изменяется на противоположный.

В случае, когда $J_{\text{Ca}} + Ш_{\text{изб}} > 2 J_k + \text{CO}_2$ в воду помимо едкого натрия необходимо добавлять соду для устранения кальциевой некарбонатной жесткости. При этом доза соды в мг/л будет увеличиваться по мере повышения некарбонатной жесткости и определяться по формуле:

$$D_c = 53 \left(J_{\text{Ca}} - 2 Ш_o - \frac{[\text{CO}_2]}{22} + Ш_{\text{изб}} \right),$$

где $Ш_o$ – щелочность исходной воды, мг-экв/л.

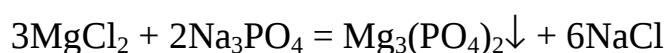
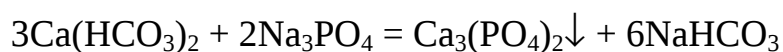
Область применения *бариевого* способа умягчения воды ограничивается высокой стоимостью и токсичностью реагентов. Химизм процесса описывается следующими реакциями:



Требуемая доза бариевых солей, мг/л, и доза углекислоты (для перевода карбоната бария в бикарбонат) могут быть определены для гидроокиси бария Ba(OH)_2 (продукт 100% активности) по формуле $D_6 = 1,8[\text{SO}_4^{2-}]$; алюмината бария $\text{BaAl}_2\text{O}_4 - D_6 = 128 J_o$; углекислого бария $\text{BaCO}_3 - D_6 = 2,07 \gamma [\text{SO}_4^{2-}]$, $D_{yz} = 0,46 [\text{SO}_4^{2-}]$, где $[\text{SO}_4^{2-}]$ – концентрация сульфатов в умягчаемой воде, мг/л; $\gamma = 1,15-1,2$ – коэффициент, учитывающий потери углекислого бария.

Фосфатный способ умягчения применяют для доумягчения воды после ее обработки известью и содой. Наиболее глубокий эффект умягчения достигается при подогреве воды до 105-150 °С.

Процесс умягчения воды тринатрийфосфатом (Na_3PO_4) описывается следующими реакциями:



Дозу безводного тринатрийфосфата, мг/л, определяют по формуле:

$$D_{\phi} = 54,67 (J_{\text{ост}} + 0,18),$$

где $J_{\text{ост}}$ – остаточная жесткость умягченной воды перед фосфатированием, мг/л.

Основными элементами установок для реагентного умягчения воды являются: устройства для приготовления и дозирования реагентов, смесители, камеры хлопьеобразования (при необходимости), вихревые реакторы, осветлители со слоем взвешенного осадка и фильтры.

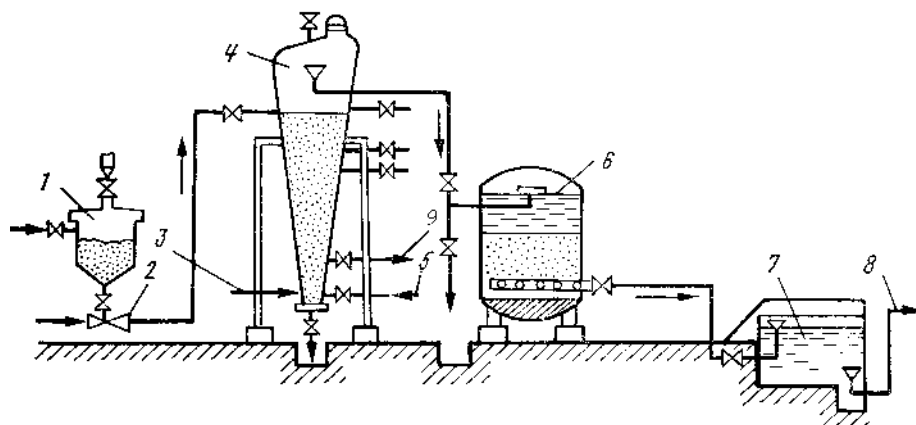


Рис. 11.1. Водоумягчительная установка с вихревым реактором:

1 – бункер с контактной массой; 2 – эжектор; 3, 8 – подача исходной и отвод умягченной воды; 4 – вихревой реактор; 5 – ввод реагентов; 6 – напорный осветлительный фильтр; 7 – резервуар умягченной воды; 9 – сброс контактной массы

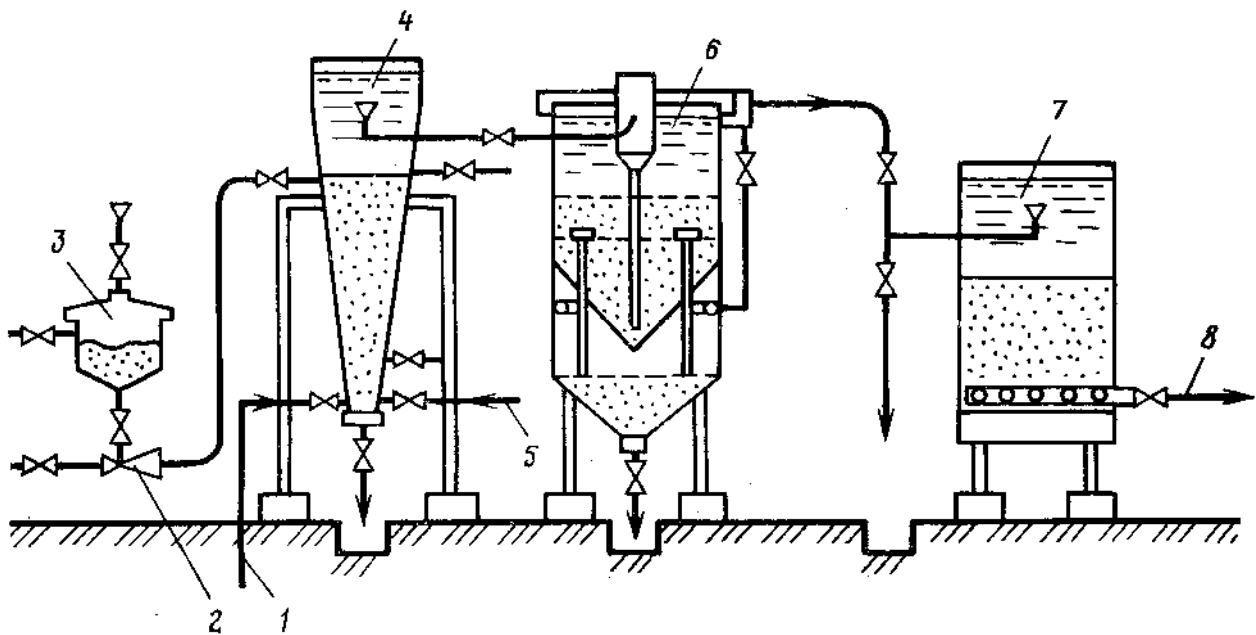


Рис. 11.2. Установка известково-содового умягчения воды:

1, 8 – подача исходной и отвод умягченной воды; 2 – эжектор; 3 – бункер с контактной массой; 4 – вихревой реактор; 5 – ввод реагентов; 6 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 7 – осветлительный скорый фильтр; 8 – сброс контактной массы.

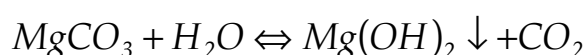
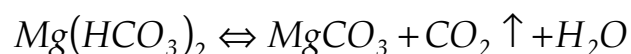
Выбор технологической схемы реагентного умягчения воды известковым или известково-содовым способами определяется количеством и качеством обрабатываемой воды: жесткостью воды, соотношением ее компонентов и содержанием взвешенных веществ.

Для приготовления известкового раствора на установках малой производительности (до 100 м³/ч) применяют сатураторы, а на крупных очистных станциях – механизированные установки, включающие бункер для приготовления извести, дробилку, известегасильное устройство, баки для известкового молока с мешалками.

Термические методы умягчения воды. Термический метод умягчения воды целесообразен при использовании карбонатных вод, идущих на питание котлов низкого давления, а также в сочетании с реагентными методами умягчения воды. При нагревании воды за счет ее температуры происходит понижение растворимости углекислоты и сдвиг углекислотного равновесия в сторону образования кальция.



При кипячении происходит частичное устранение кальциевой жесткости, а с увеличением продолжительности кипячения – и магниевой:



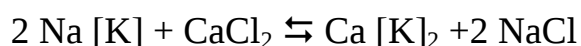
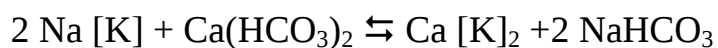
В промышленных условиях применяются термоумягчители для снижения жесткости воды, содержащей преимущественно карбонатную жесткость и используемой после умягчения для питания котлов низкого и среднего давления. Обрабатываемая вода поступает в него через эжектор, обеспечивающий циркуляцию воды и стекает навстречу греющему пару в зону осветления со взвешенным слоем выпадающего из воды осадка. Осветленная вода после тонкослойных сепарирующих элементов отводится потребителю, а выделяющаяся из воды углекислота, кислород и избыток пара отводится в атмосферу. Продолжительность кипения воды принимается в пределах 40 минут, а осветление воды в слое выпадающего осадка из солей жесткости производится при скорости восходящего фильтрования равной 7-10 м/ч.

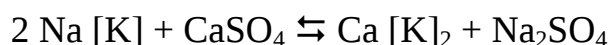
Термохимическое умягчение с применением извести и соды или едкого натра и соды осуществляют при температуре воды $T > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для полного умягчения воды этот метод сочетают с фосфатным доумягчением и магниальным извлечением кремния. В состав установок для термохимического умягчения входят дозаторы реагентов, подогреватели и сооружения для осветления (отстойники, осветлители, фильтры) воды.

Магнитная обработка воды применяется для борьбы с накипеобразованием и инкрустацией. Под влиянием магнитного поля происходят поляризация и деформация ионов, сопровождающиеся уменьшением их гидратации, повышающей вероятность их сближения, и в конечном итоге образование центров кристаллизации. Сущность метода состоит в том, что при пересечении водой магнитных силовых линий накипеобразователи выделяются не на поверхности нагрева, а в массе воды. Образующиеся рыхлые осадки удаляют при продувке. Метод эффективен при обработке вод кальциево-карбонатного класса. При проектировании магнитных аппаратов для обработки воды задаются тип аппарата, его производительность, напряженность магнитного поля, скорость воды в рабочем зазоре, время прохождения водой активной зоны аппарата, размеры магнита для аппаратов с постоянными магнитами.

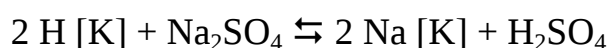
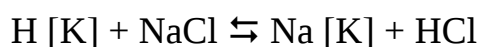
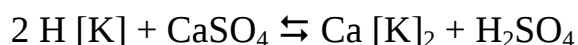
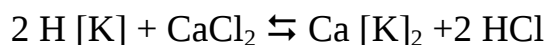
Катионитовый метод умягчения основан на способности некоторых материалов (катионитов) обменивать катионы Na^+ , H^+ или NH_4^+ , которыми предварительно «заряжены» их активные группы, на присутствующие в воде катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , обуславливающие ее жесткость. Различают процессы Na -, H - и NH_4 -катионирования, которые могут быть представлены следующими реакциями обмена:

Na - катионирование:

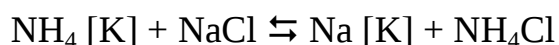
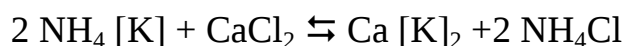
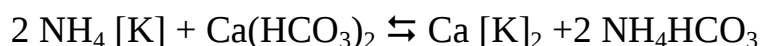




H - катионирование:



NH₄ – катионирование:



Такой же характер будут иметь реакции Na-, H- и NH₄-катионирования в отношении магниевых солей.

В случае если качество умягчаемой воды не отвечает требованиям необходимо ее предподготовка.

При проектировании катионитовых установок особое внимание следует уделять выбору типа фильтрующего материала (катионита), свойства которого определяют скорость прохождения ионообменных реакций и эффективность процесса умягчения в целом.

Таблица 11.1

Характеристики катионитов

Марка катионита	Активная группа (тип матрицы)	Насыпная масса продукта, т/м ³		Размер зерен, мм	Полная обменная емкость, г-экв/м ³
		товарного	набухшего		
Сульфуголь (сорт СК-1)	HCO ₃	0,67-0,70	0,42	0,5-1,2	500
КУ-1	то же	0,60-0,75	0,33	0,3-2,0	650
КУ-2	-"	0,73	0,65	0,3-1,5	1700
КУ-2-8,C	-"	0,70-0,90	0,33	0,4-1,5	1700
КБ-4-П2	COOH	0,68-0,82	0,17-0,33	0,25-1,0	2800
Амберлайт-50	то же	0,50	0,42	0,3-1,0	2800
Зеролит 225	-"	0,64	0,56	0,3-1,0	2000

Пьюролайт марок:			влажность, %		
С 100	Полистирольная гелевая	0,7-0,9	44-48	0,4-1,5	2000
С 100Е	Полистирольная гелевая	0,7-0,9	46-50	0,4-1,5	1900
С 145	Полистирольная макропористая	0,7-0,9	55-60	0,4-1,5	1500

Состав катионитовых установок диктуется характером процесса умягчения, осуществляемого в два этапа: собственно умягчение путем фильтрования через набухший катионит и регенерация катионита (взрыхление, обработка регенерационным раствором и отмывка). Основные элементы водоумягчительных установок: катионитные фильтры (напорные или безнапорные); баки с водой для взрыхления; сооружения и устройства для хранения, приготовления, дозирования и подачи регенерирующих растворов; насосное и воздуходувное оборудование.

Натрий – катионитовый способ умягчения воды может осуществляться по одноступенчатой или двухступенчатой схеме.

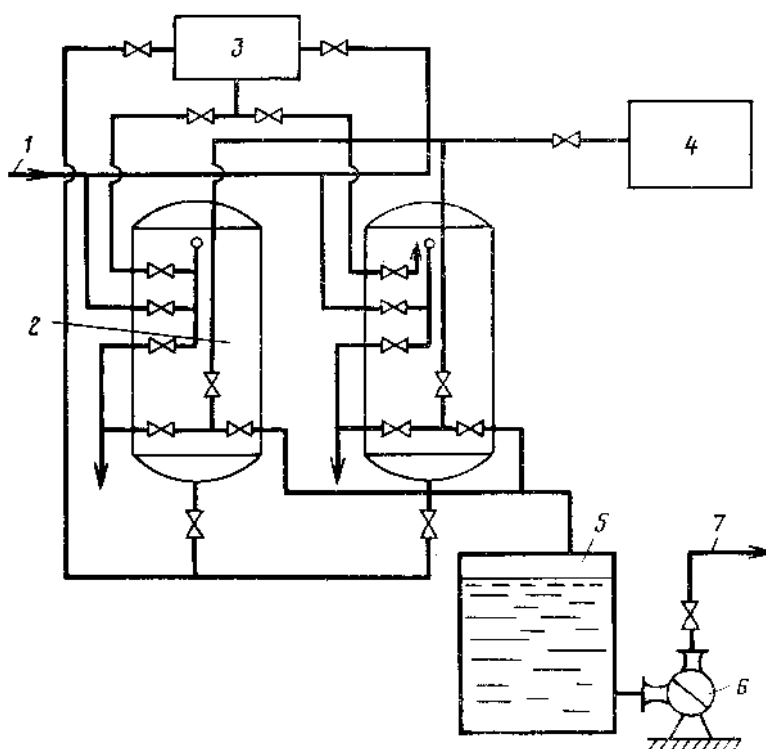


Рис. 11.3. Схема одноступенчатого натрий-катионирования воды:

1, 7 – подача исходной и отвод умягченной воды; 2 – натрий-катионитовый фильтр; 3 – бак с раствором поваренной соли; 4 – бак с частично умягченной водой для взрыхления катионита; 5 – резервуар умягченной воды; 6 – насос; 7 – подача умягченной воды потребителю

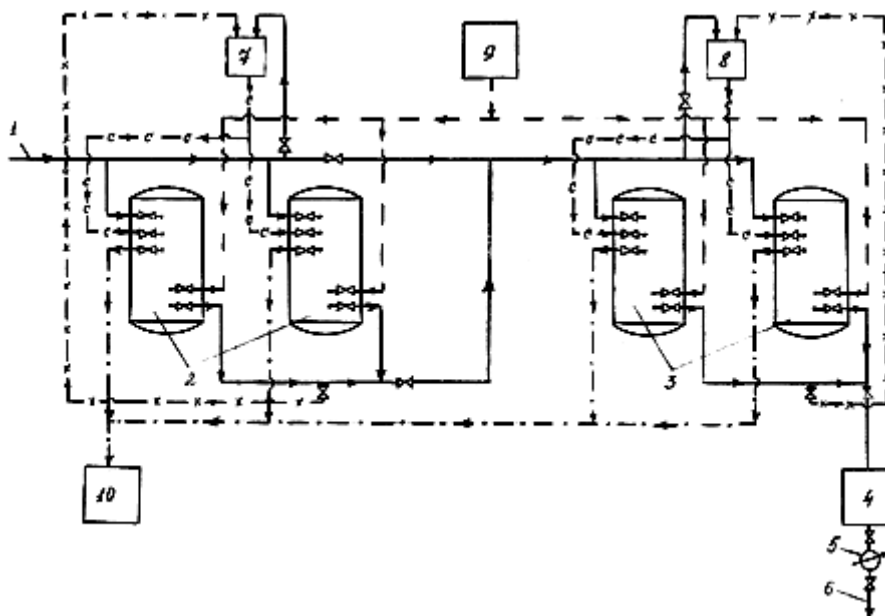


Рис. 11.4. Схема двухступенчатого натрий-катионирования воды:

1 – подача исходной воды; 2 – Na-катионитовые фильтры I ступени; 3 – Na-катионитовые фильтры II ступени; 4 – резервуар умягченной воды; 5 – насос; 6 – отвод умягченной воды; 7 – бак с раствором соли для регенерации фильтров I ступени; 8 – бак с раствором соли для регенерации фильтров II ступени; 9 – бак с водой для взрыхления; 10 – резервуар промывной воды

При расчете катионитного фильтра определяют рабочую емкость и объем катионита, площадь и число фильтров.

Рабочую обменную емкость катионита, г-экв/м³, находят по формуле:

$$E_{\text{раб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{пол}} - 0,5 \cdot q_{\text{уд}} \cdot Ж_{\text{о.исх.}},$$

где α_{Na} – коэффициент эффективности регенерации Na-катионита, учитывающий неполноту его регенерации; β_{Na} – коэффициент, учитывающий снижение обменной емкости катионита по Ca^{2+} и Mg^{2+} вследствие частичного задержания катионов Na^{+} ; $E_{\text{пол}}$ – полная обменная емкость катионита, г-экв/м³; $q_{\text{уд}}$ – удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³; $Ж_{\text{о.исх.}}$ – общая жесткость исходной воды, г-экв/м³.

Выбор и расчет сооружений и устройств для хранения, приготовления и подачи регенерирующего раствора технической поваренной соли, определяется производительностью водоумягчительной установки. При производительности установок до 10 м³/ч с расходом соли на регенерацию менее 0,5 т/сут рекомендуется хранение соли в сухом виде в неотапливаемых складах навалом высотой не более 2 м, ее растворение в проточных солерастворителях и доведение до требуемой концентрации раствора в рабочих баках. При производительности умягчительных установок более 10 м³/ч и больших расходах соли целесообразно применять «мокрое» хранение соли с последующим осветлением концентрированного раствора, его разбавлением и

подачей на катионитовые фильтры.

Количество воды, необходимое для растворения 1 кг технической поваренной соли принимают равным 10 л, а предельно допустимую скорость фильтрования раствора соли через гравийные слои солерастворителя – 6 м/ч.

Технологические схемы солевого хозяйства могут быть выполнены с применением насосов для подачи регенерационного раствора соли на фильтр, либо с устройством мерных сосудов и подачей раствора соли эжекторами на фильтр.

Водород-натрий-катионитовый способ умягчения воды может осуществляться по схемам параллельного, последовательного и совместного катионирования.

При *параллельном* Н-Na-катионировании одна часть воды пропускается через Na-катионитовые фильтры, другая – через Н-катионитовые фильтры, а затем оба потока смешиваются.

При *последовательном* Н-Na-катионировании часть воды пропускается через Н-катионитовые фильтры, затем она смешивается с остальной водой, пропускается через дегазатор и Na-катионитовые фильтры.

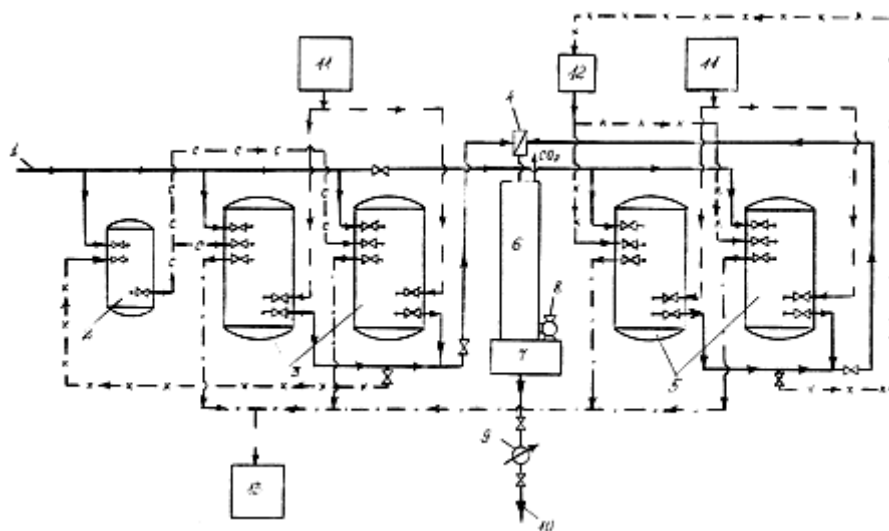


Рис. 11.5. Схема параллельного водород-натрий катионитового умягчения воды:
1 – подача исходной и отвод умягченной воды; 2 – солерастворитель; 3 – группа Na-катионитовых фильтров; 4 – смеситель; 5 – группа Н-катионитовых фильтров; 6 – дегазатор; 7 – резервуар умягченной воды; 8 – вентилятор; 9 – насос; 10 – отвод умягченной воды; 11 – бак для взрыхления; 12 – бак для хранения раствора кислоты; 13 – резервуар отвода воды после взрыхления

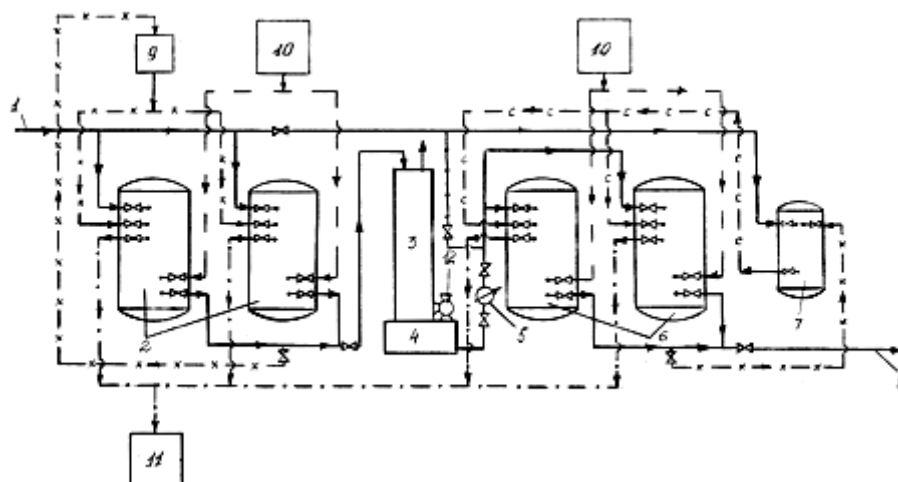


Рис. 11.6. Схема последовательного водород-натрий катионитового умягчения воды:
 1 – подача исходной воды; 2 – группа Н-катионитовых фильтров; 3 – дегазатор; 4 – резервуар умягченной воды; 5 – насос; 6 – группа Na-катионитовых фильтров; 7 – солерастворитель; 8 – отвод умягченной воды; 9 – бак для хранения раствора кислоты; 10 – бак для взрыхления; 11 – бак после взрыхления; 12 – вентилятор

Совместное Н-Na-катионирование осуществляют в одном фильтре, верхним слоем загрузки которого является Н-катионит, нижним – Na-катионит.

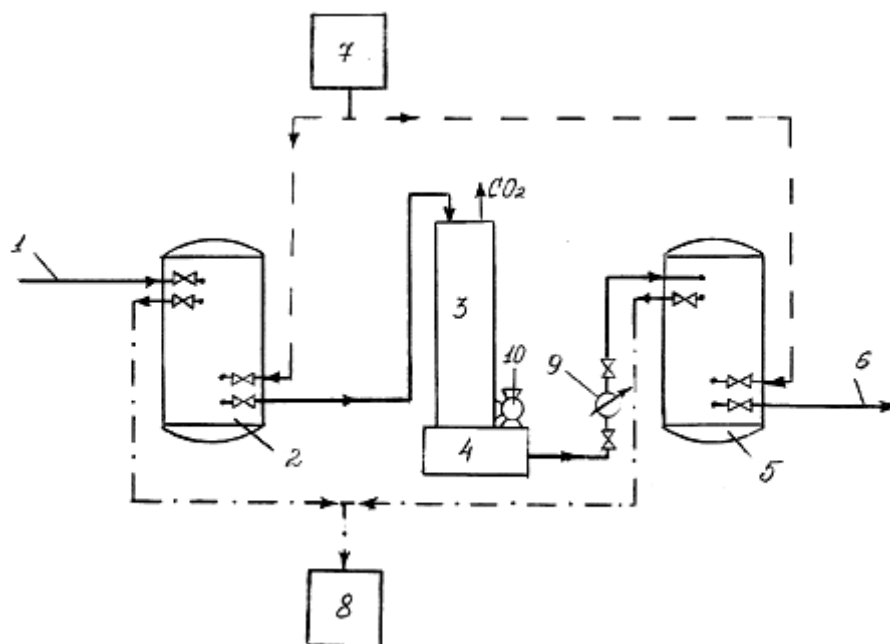


Рис. 11.7. Схема совместного водород-натрий-катионитового умягчения воды:
 1 – подача исходной воды; 2 – водород-натрий-катионитовый фильтр; 3 – дегазатор; 4 – резервуар умягченной воды; 5 – буферный Na-катионитовый фильтр; 6 – отвод умягченной воды; 7 – бак для взрыхления; 8 – резервуар промывной воды после взрыхления; 9 – насос; 10 – вентилятор

При параллельном Н-Na-катионировании расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$, подаваемой на Н-катионитовые фильтры будет равен:

$$q_{пол}^H = q_{пол} \frac{Ш_{исх} - Ш_{ум}}{A + Ш_{исх}},$$

где $q_{пол}^H$ – полезная производительность H-Na ионитовых фильтров, м³/ч; $Ш_{исх}$ – исходная щелочность воды, г-экв/м³; $Ш_{ум}$ – требуемая щелочность умягченной воды, г-экв/м³; A – суммарное содержание в умягченной воде анионов сильных кислот, г-экв/м³;

Рабочую обменную емкость H-катионита, г-экв/м³, находят по формуле:

$$E_{раб}^H = \alpha_H E_{пол} - 0,5 q_{уд} C_K,$$

где α_H – коэффициент эффективности регенерации H-катионита; $E_{пол}$ – паспортная полная обменная емкость катионита в нейтральной среде, г-экв/м³; $q_{уд}$ – удельный расход воды на отмывку катионита после регенерации, м³/м³ катионита; C_K – общее содержание в воде катионов Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ и K⁺, г-экв/м³,

а необходимый объем катионита, м³, H-катионитовых фильтров:

$$W_H = 24 q_{пол}^H \frac{Ж_{o.ум} + C_{Na}}{n_p E_{раб}^H},$$

Для осуществления регенерации H- и Na-катионитовых фильтров предусматривают устройство соответственно кислотного и солевого хозяйства. В состав кислотного хозяйства, обеспечивающего месячный запас реагента, входят: цистерны-хранилища, мерники для концентрированной серной кислоты, вакуум-насосы и оборудование для подачи рабочего раствора на фильтры (эжектор или насосы).

В большинстве случаев для обслуживания установок используется осветленная не умягченная вода, за исключением установок с двухступенчатым катионированием, в которых отмывка фильтров II ступени производится умягченной водой после фильтров I ступени. В связи с этим, расчет последних осуществляется на производительность, равную (1,5-2,0)· Q_{II} . Если по технологии предусмотрено повторное использование отмывочной воды для взрыхления фильтров и приготовления регенерационного раствора, то расход воды на собственные нужды сокращается на Q_1 и Q_2 .

При H-Na-катионитовом умягчении воды для удаления образующейся в процессе водообработки свободной углекислоты рекомендуется устройство пленочных дегазаторов с кислотоупорной или деревянной хордовой насадками, работающих в условиях противотока воды и воздуха, нагнетаемого вентилятором.

При расчете дегазатора определяют площадь поперечного сечения и диаметр дегазатора, площадь поверхности насадки, необходимые расход воздуха и напор, развиваемый вентилятором.

Расчет резервуара для приема умягченной воды включает определение его регулирующего объема по совмещенному графику водопотребления и водоподдачи, объемов воды, необходимых на случай аварий и расходов воды на собственные нужды станций водоподготовки.

Аммоний-натрий-катионитовый способ умягчения воды применяется в случаях, когда не допускается в умягченной воде присутствие карбонатов натрия или калия, но возможно содержание ионов аммония. Первоначально катионит регенерирует раствором аммонийной соли и его обменные катиониты замещаются ионами аммония. При нагревании и кипении аммоний-катионированной воды соли аммония разлагаются, аммиак и углекислота улетучиваются с паром. Разложение аммонийных солей сопровождается образованием сильных кислот, подкисляющих воду. Для предотвращения этого вмести – аммоний-катионированием рекомендуется применять натрий-катионирование части умягчаемой воды.

$\text{NH}_4\text{-Na}$ -катионирование можно осуществлять в одном фильтре, регенерацию которого производят раствором хлористого аммония и поваренной соли, либо последовательным пропуском через аппарат сначала поваренной соли, а затем раствора аммонийной соли.

Умягчение воды диализом. Данный метод обработки воды представляет собой мембранный процесс, основанный на явлении переноса ионов электролита через селективные ионообменные мембраны под действием постоянного электрического тока. К его преимуществам можно отнести следующее: не требует фазового превращения воды; действует при низких давлениях и температуре; характеризуется пропорциональностью потребляемой энергии солености исходной воды.

Глава 12. Общие вопросы проектирования водоочистных комплексов

Полный расход воды, поступающей на комплекс водоподготовки, определяют с учётом 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 фильтровальной воды и др.) и дополнительного расхода воды на восполнение противопожарного запаса. Для комплексов осветления и обесцвечивания, обезжелезивания, сорбционного обесфторивания при обороте промывной воды коэффициент, с помощью которого определяют расход воды на собственные нужды комплекса, составляет 1,03-1,04; без повторного использования – 1,1-1,14; для установок умягчения воды – 1,2-1,3.

Водоочистные комплексы должны быть рассчитаны на равномерную работу в течение суток максимального водопотребления, при этом следует предусмотреть необходимость отключения отдельных сооружений на текущий ремонт, осмотр и т.п.

При проектировании водоочистных комплексов их коммуникации необходимо рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 30 % больше расчётного, 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 СНиПу. Дополнительно требуется включение в технологическую схему микрофильтров, если «цветение» воды длится более 1 мес. в году и если среднемесячное содержание планктона более 1000 клеток в 1 м³ воды.

При выборе технологической схемы также учитывается опыт эксплуатации станций в аналогичных условиях и результаты предварительных технологических исследований.

Как показала практика, классические технологические схемы с отстойниками и осветлителями со слоем взвешенного осадка дают хорошие результаты в основном при очистке речных вод, в которых содержатся тяжёлые грубодисперсные примеси. При очистке вод озёр и водохранилищ, а также рек с малой скоростью течения воды, при очистке низкотемпературных вод более высокий эффект можно получить применением флотации, двухступенчатого фильтрования. С повышением цветности воды и общего содержания органических веществ растёт роль реагентной обработки воды. Высокоэффективными, а часто и неизбежными могут стать методы окисления озоном, хлором, сорбционная и биосорбционная обработка.

Для снижения окисляемости вместо хлора во избежание образования хлорорганических соединений на предварительной очистке могут использоваться биореакторы.

Рассмотренные ранее технологические схемы составлены исходя из оптимальных режимов эксплуатации отдельных водоочистных сооружений и с учётом технико-экономических показателей их работы. Так, сооружения предварительной обработки воды (отстойники, осветлители со взвешенным осадком, флотаторы и др.) должны осветлять воду до содержания взвесей 3-12 мг/л и снижать её цветность до 25-30 град. При этом минимальная продолжительность работы вертикального отстойника должна быть не менее 6 ч, горизонтального – 12-24 ч, осветлителей со взвешенным осадком – 3-12 ч между выпусками осадка.

Если мутность обрабатываемой воды больше 1,5 г/л, то необходимо предусматривать сооружения предварительного безреагентного осветления, выбор которых обусловлен характером взвеси и производительностью водоочистного комплекса. Обычно для этой цели используют горизонтальные или радиальные отстойники, гидроциклоны и водозаборы – осветлители.

После того, как намечена технологическая схема очистки воды, делается выбор конструкций отдельных сооружений.

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 надёжной работы указанных аппаратов. Следует предусматривать рассредоточенный ввод реагентов.

При необходимости удаления из воды планктона следует предусматривать микрофильтры, или принимать технологию с флотаторами, или на первой ступени фильтровать воду через плавающую полимерную загрузку.

В случае дезодорации воды с использованием угольной пульпы или сильного окислителя в начале технологического тракта следует принимать в качестве входного устройства контактный резервуар, а при длительном периоде дезодорации – угольные фильтры, располагаемые после осветлительных.

При коагулировании примесей воды в условиях низких температур, а также при её реагентном умягчении следует использовать соли железа. Для обесцвечивания воды рекомендуются в качестве коагулянта соли алюминия (или их смесь с солями железа), озон и активированная кремниевая кислота.

Высотное расположение очистных сооружений должно обеспечивать самотечное движение воды от наивысшей точки технологической схемы до резервуара чистой воды.

Наивысшей точкой обычно является максимальный уровень воды в микрофильтрах или в смесителях. Отметки уровня воды в сооружениях рассчитывают исходя из потерь напора в сооружениях и в коммуникациях при максимальной производительности станции. Ориентировочные потери напора в сооружениях и коммуникациях приведены в СНиПе. За нулевую отметку принимают максимальный уровень воды в резервуаре чистой воды, которая должна быть на 0,25-0,5 м выше поверхности земли. Далее путём последовательного суммирования потерь напора определяют отметки уровней воды в остальных сооружениях.

На высотной схеме водоочистного комплекса помимо основных технологических сооружений должно быть показано реагентное хозяйство, сооружения по обороту промывной воды и обработки осадка из сооружений предварительной очистки, отметки оси промывных насосов или днища бака

промывной башни, отметки вакуум – насосов, насосов – дозаторов, кислотных насосов, воздуходувок.

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 водоёме в период паводка, возможность самотечного отвода сточных вод и осадков с очистных сооружений, условия производства строительно-монтажных работ и их объём, условия работы насосов насосной станции II подъёма. Отметки днищ водоочистных сооружений должны назначаться с соблюдением условия минимального объёма земляных и бетонных работ и наиболее благоприятных условий производства работ.

Для определения размеров поперечного сечения коммуникаций исходят из следующих скоростей течения воды, м/с: от НС-I подъёма 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.

Место строительства станции должно обеспечить компактное расположение всех зданий и сооружений, минимальную длину коммуникаций и удобство эксплуатации. Необходимо зарезервировать запасные площади для расширения станции, вокруг станции должна быть возможность создания зон санитарной охраны.

Основополагающими при решении генплана водоочистного комплекса помимо географических, топографических и геологических условий являются его производительность и состав водоочистных сооружений.

На генплане обозначают все строения и сооружения, наружные коммуникации, дороги, озеленение и ограждение. По возможности все очистные сооружения, производственные и вспомогательные помещения, реагентное хозяйство целесообразно сконцентрировать под единую крышу или группировать в несколько близкорасположенных зданий.

Расположение всех сооружений и помещений в одном здании возможно, как правило, только при небольшой производительности станции.

Расходные склады хлора и аммиака, а также кислот проектируются согласно «Санитарным правилам проектирования оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих ядовитых веществ».

Склады хлора и аммиака располагаются в отдельных зданиях. Расстояние от них до водоисточника и производственных помещений с постоянным пребыванием людей должно быть не менее 30 м.

Хлораторную, совмещённую со складом хлора, размещают в наиболее низкой части территории водоочистного комплекса.

Склады других реагентов должны располагаться вплотную к реагентному

цеху, где находятся аппараты для приготовления их растворов и суспензий.

В соответствии с видом реагента и производительностью комплекса предусматривают его сухое или мокрое хранение в виде концентрированных растворов или продуктов, залитых водой. Хранение реагентов в сухом виде осуществляют в закрытых складах навалом или в таре.

Фторсодержащие реагенты и полиакриламид хранят в таре. На крупных водоочистных комплексах раствор коагулянта концентрацией 15-20 % хранят в баках-хранилищах без перемешивания.

К помещению для хранения активного угля предъявляют требования пожарной безопасности, относя реагент к категории В.

На крупных водоочистных комплексах предусматривают песковое хозяйство для хранения, сортировки, промывки и транспортирования материалов, необходимых для периодической догрузки и перегрузки фильтровальных аппаратов. На станции должен быть аварийный запас песка из расчёта 10% ежегодного пополнения фильтрующей загрузки и запас на перегрузку одного фильтра при общем их количестве до 20. Загрузку фильтрующим материалом следует производить с помощью песковых или водоструйных насосов при скорости движения пульпы 1,2-2 м/с.

При благоприятных климатических условиях часть сооружений (отстойники, осветлители со взвешенным осадком, камеры хлопьеобразования, контактные бассейны хлора) целесообразно устанавливать вне здания. Образующийся ледяной покров не должен препятствовать нормальной эксплуатации сооружений. Для этого сооружения покрывают железобетонными плитами и утепляют слоем земли.

Надёжность работы водоочистного комплекса обеспечивается дублированием отдельных технологических сооружений и устройством обводных линий, позволяющих отключать то или иное сооружение или блок, пропуская воду в обход. При этом для водоочистных комплексов с подачей до 10 тыс. м³/сут возможно отключение половины технологических сооружений, а для комплексов большей мощности – до четверти. Кроме того, необходимо, предусматривать обводную линию от НС-I подъёма непосредственно в резервуары чистой воды.

При проектировании генерального плана водоочистного комплекса необходимо предусматривать минимальную протяжённость путей перемещения реагентов; максимально возможную механизацию погрузочно-разгрузочных работ и смены загрузки фильтровальных аппаратов; маневренность эксплуатации, как отдельных технологических сооружений, так и целых блоков.

При решении компоновки блока основных сооружений преследуют цель логической последовательности передачи воды от сооружения к сооружению при минимальной протяжённости коммуникаций.

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 подъёма. При этом смесители, осветлители и фильтры выделены в отдельный зал. При большой производительности водоочистного комплекса служебные помещения выносят в отдельное здание, входные устройства стыкуют с основными сооружениями или размещают в отдельно стоящем здании реагентного хозяйства. Для удобства эксплуатации служебный корпус и реагентный цех проходными галереями соединяют с блоком основных сооружений.

При решении компоновки водоочистных комплексов по одноступенчатой схеме с контактными осветлителями при производительности до 50 тыс. м³/сут входные устройства (микрофильтры, контактные камеры) размещают в отдельном здании, а реагентное хозяйство стыкуют с основными сооружениями, либо входные устройства сочетают с реагентным хозяйством и располагают в отдельном блоке. В обоих случаях НС II подъёма размещают в блоке основных сооружений.

В том случае, когда подача водоочистного комплекса составляет 50 тыс. м³/сут и более, входные устройства размещают по оси здания основных сооружений, а для реагентного хозяйства, служебных помещений и НС II подъёма предусматривают отдельные здания.

Контактные осветлители, как правило, располагают в два ряда и устраивают остеклённые перегородки, отделяющие зеркало воды в них от остальных помещений.