

# *Обезжелезивание и деманганация воды*

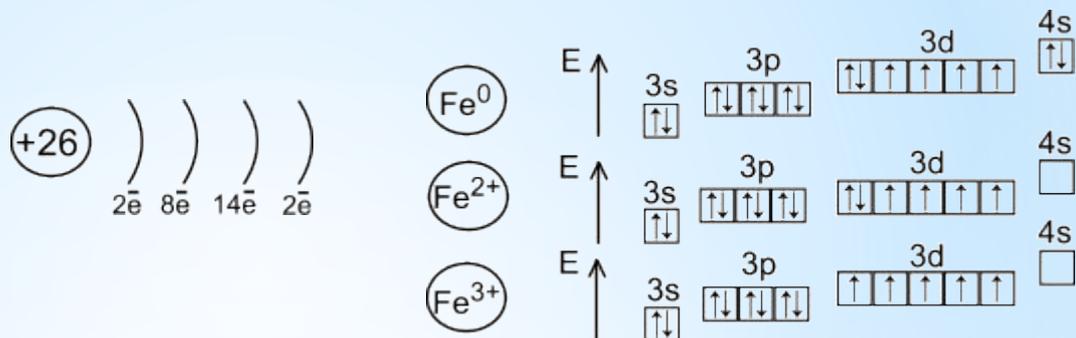
# Основные сведения о железе. Строение атома.

## Строение атома железа

Железо (лат. Ferrum) – химический элемент VIII группы периодической системы элементов Д. И. Менделеева, атомный номер 26, атомная масса 55,847. Блестящий серебристо-белый пластичный металл, плотностью 7,874 г/см<sup>3</sup>,  $t_{\text{пл}} = 1535$  °C.

Железо – один из семи металлов, известных человечеству с глубокой древности.

По распространенности в литосфере железо находится на 4-м месте среди всех элементов и на 2-м месте после алюминия среди металлов.



Тип железа	Вода из-под крана	Вода после отстаивания
Двухвалентное	Чистая	Красно-бурый осадок
Трехвалентное	Окрашена	Красно-бурый осадок
Коллоидное	Желто-бурая	Не образует осадка, не фильтруется
Растворенное органическое	Желто-бурая	Не образует осадка, не фильтруется
Бактериальное	Опалесцирующая пленка, желеобразные образования в водопроводной системе.	

Вода с высоким содержанием железа обладает неприятным вкусом, придает воде характерный красно-коричневый оттенок, а при отстаивании воды образует бурый рыхлый осадок.

Стандартный окислительный потенциал реакции  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  составляет +0,771 В

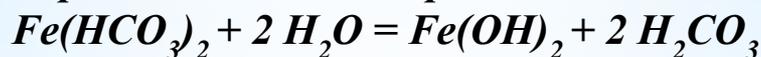
Физико-химические методы водоподготовки

Железо (II)	Железо (III)
Слабо гидролизуется, способно оставаться в растворенном состоянии в нейтральных областях pH. Значения pH полного осаждения 9,7-13,5 PR = 7,1 · 10 <sup>-16</sup>	Легко гидролизуется с образованием малорастворимого гидроксида железа PR = 6,3 · 10 <sup>-38</sup> (свежеосажденный) PR = 3,2 · 10 <sup>-40</sup> (после старения)
Комплексообразование слабовыраженное.	Хороший комплексообразователь, способен образовывать прочные комплексы с органическими и неорганическими лигандами.

## *Химические процессы с участием железа в водных средах*

*В воде поверхностных источников железо находится обычно в форме органо-минеральных коллоидных комплексов, в частности в виде гуминовокислого железа, и тонкодисперсной взвеси гидроксида железа. В речной воде, загрязненной кислотными стоками, встречается сульфат двухвалентного железа  $FeSO_4$ . Из-за наличия в речной воде растворенного кислорода двухвалентное железо  $Fe^{2+}$  окисляется в трехвалентное  $Fe^{3+}$ . При появлении в воде сероводорода  $H_2S$  образуется тонкодисперсная взвесь сульфида железа  $FeS$ .*

*Подземные источники воды в подавляющем большинстве характеризуются наличием растворенного бикарбоната двухвалентного железа  $Fe(HCO_3)_2$ , который вполне устойчив при отсутствии окислителей и при  $pH > 7,5$ . При высокой карбонатной жесткости,  $pH > 10$  и содержании  $Fe^{2+} > 10$  мг/л бикарбонат может гидролизироваться с образованием углекислоты:*

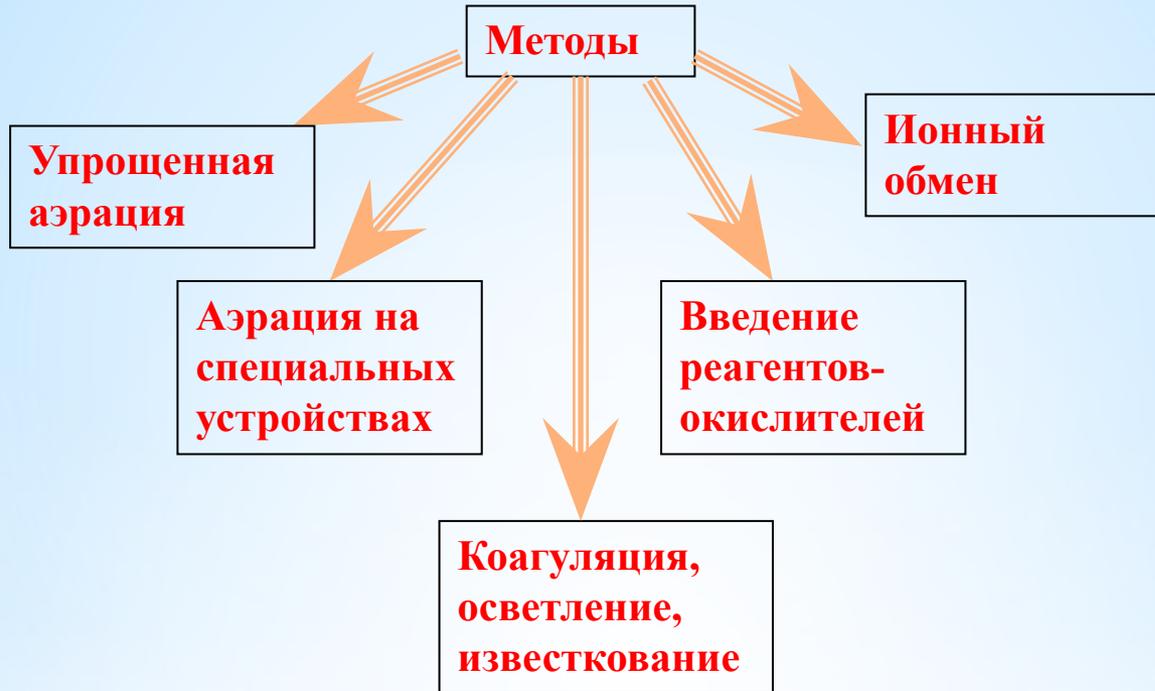


*В анаэробных условиях прозрачная подземная вода может содержать соединения двухвалентного железа ( $Fe^{2+}$ ) до нескольких миллиграммов на литр без ее помутнения при прямой подаче из источника. Однако при контакте с воздухом, а точнее с кислородом воздуха, двухвалентное железо окисляется до трехвалентного коллоидного состояния, что придает воде характерный красно-коричневый оттенок:*



*Железо способствует также развитию «железобактерий», которые получают энергию при окислении  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ , в результате чего в трубопроводах и на оборудовании образуется скопление слизи. В процессе окисления на 1 мг  $Fe^{2+}$  затрачивается 0,143 мг кислорода ( $O_2$ ), увеличивается содержание свободной углекислоты на 1,6 мг/л, а щелочность снижается на 0,036 мг-экв/л.*

# *Методы удаления железа из воды*



## Упрощенная аэрация

*Этот метод допускается применять при следующих качественных показателях воды [1,2]:*  
*общее содержание железа до 10 мг/л, при этом содержание двухвалентного железа не менее 70%;*  
*величина рН не менее 6,8;*  
*щелочность более  $(1 + [Fe^{2+}]/28)$  мг-экв/л, где  $[Fe^{2+}]$  - концентрация двухвалентного железа в мг/л;*  
*содержание сероводорода не более 2 мг/л;*  
*перманганатная окисляемость не более  $(0,15[Fe^{2+}] + 5 \text{ мг/л } O_2)$ .*

*Упрощенную аэрацию можно реализовать путем излива воды в карман или в центральный канал открытых фильтров с высоты над уровнем воды 0,5-0,6 м.*

*При использовании напорных фильтров воздух вводят непосредственно в подающий трубопровод с нормой расхода 2 л на 1 г железа  $Fe^{2+}$ . Если в исходной воде более 40 мг/л свободной углекислоты и более 0,5 мг/л сероводорода, то воздух в трубопровод не вводят. В этом случае перед напорным фильтром необходимо установить промежуточную емкость со свободным изливом воды и повысительный насос.*

# *Каскадный аэратор*

## **Принцип действия**

Поступающая в аэратор вода по каскаду попадает в сборный поддон а потом в приемник. Конструкция башни разбивает поток воды на маленькие капли и приводит к аэрации воды при контакте с окружающим воздухом. Содержащийся в воздухе кислород окисляет растворенные соединения железа и превращает их в нерастворимые соединения.



# Требования к параметрам фильтрации после упрощенной аэрации

Характеристика фильтрующего слоя при обезжелезивании воды упрощенной аэрацией по СНИП 2.04.02-84					Расчетная скорость фильтрования, м/ч
Мин. диаметр зерен, мм	Макс. диаметр зерен, мм	Эквивалентный диаметр зерен, мм	Коэффициент неоднородности	Высота слоя, мм	
0,8	1,8	0,9 - 1,0	1,5 - 2	1000	5 - 7
1	2	1,2 - 1,3	1,5 - 2	1200	7 - 10

Общую поверхность фильтрования можно определить по формуле:

$$F = Q / (T_{ст} v_n - n_{пр} q_{пр} - n_{пр} t_{пр} v_n),$$

где  $Q$  - полезная производительность фильтровальной станции за 1 сутки, м<sup>3</sup>;  $T_{ст}$  - продолжительность работы станции в течение суток, ч;  $v_n$  - расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч, принимаемая по таблице;  $n_{пр}$  - число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации;  $q_{пр}$  - удельный расход воды на одну промывку одного фильтра, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> (определяется из паспортных данных фильтра и эксплуатационных характеристик наполнителя);  $t_{пр}$  - время простоя фильтра в связи с промывкой, ч (определяется из паспортных данных фильтра и рабочих характеристик наполнителя).

Количество фильтров в составе фильтровальной станции производительностью более 1600 м<sup>3</sup>/сутки должно быть не менее четырех. При производительности более 8-10 тыс. м<sup>3</sup>/сутки количество фильтров  $N$  следует определять с округлением до ближайших целых чисел (четных или нечетных в зависимости от компоновки фильтров) по формуле:

$$N = (F)^{0,5} / 2$$

При этом должно быть выдержано соотношение:

$$V_{ф} = V_n N / (N - N_1),$$

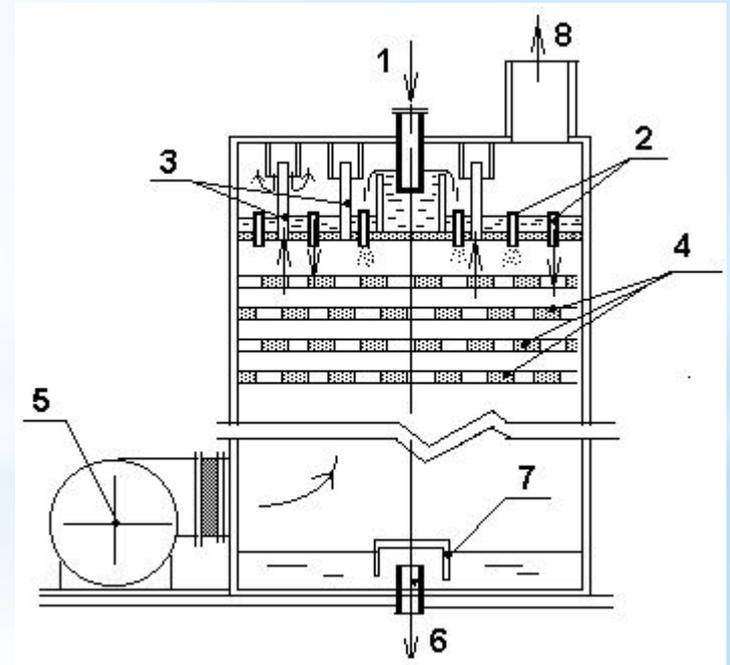
где  $N_1$  - число фильтров, находящихся в ремонте;  $V_{ф}$  - скорость фильтрования при форсированном режиме.

# Аэрация на специальных устройствах

Аэрация на специальных устройствах используется, когда необходимо удалить из воды железо при концентрации его в воде выше 10 мг/л и увеличить величину рН выше 6,8.

Для осуществления аэрации используют вентиляторные градирни (дегазаторы), либо контактные градирни с естественной вентиляцией. На рисунке представлена схема установки для обезжелезивания воды аэрацией. Исходная вода через патрубок 1 подается в верхнюю часть вентиляторной градирни, заполненной керамической насадкой 4 (кольца Рашига размером 25x25x4 мм) или деревянной хордовой насадкой из брусков. Навстречу потоку воды с помощью вентилятора 5 направляют воздух. В процессе аэрации выделяется углекислота (диоксид углерода), а вода обогащается кислородом. Из градирни вода стекает в контактную емкость 7, откуда насосом подается в напорный фильтр. В объеме наполнителя фильтра завершается образование хлопьев гидроксида трехвалентного железа и их задержание.

1 - патрубок для подачи исходной воды в вентиляторную градирню; 2 - водосливные трубки; 3 - воздушные трубки; 4 - насадка; 5 - вентилятор; 6 - патрубок для отвода обработанной воды; 7 - контактная емкость с гидравлическим затвором; 8 - патрубок для выхода газов из градирни.



# Аэрация на специальных устройствах

Площадь поперечного сечения дегазатора вычисляется исходя из плотности орошения ( $\Pi_{ор}$ ):

керамическая насадка -  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади дегазатора,

деревянная хордовая насадка -  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади.

Вентилятор дегазатора должен обеспечивать подачу не менее  $15 \text{ м}^3$  воздуха на каждый куб. метр обрабатываемой воды. Определение напора, развиваемого вентилятором, следует производить с учетом сопротивления насадки. На каждый метр высоты слоя керамической насадки «теряется» 30 мм вод. ст., а для деревянной хордовой - 10 мм вод. ст.

Время пребывания воды в контактной емкости  $t_{\text{конт}}$  (после дегазатора) составляет 30-45 минут.

Содержание $\text{CO}_2$ в воде, подаваемой на дегазатор, мг/л	Высота слоя насадки в дегазаторе, м	
	Кислотоупорная керамическая	деревянная хордовая
1	2	3
50	3	4
100	4	5,2
150	4,7	6
200	5,1	6,5
250	5,5	6,8
300	5,7	7

Высота слоя насадки, необходимая для снижения содержания диоксида углерода в воде, определяется с помощью таблицы. Содержание диоксида углерода в воде, подаваемой в градирню (дегазатор) зависит от концентрации растворенного (равновесного) свободного диоксида углерода  $[\text{CO}_2]_{\text{св}}$ , мг/л и карбонатной жесткости исходной воды, разрушаемой при водоподготовке, мг-экв/л

# Коагуляция и осветление. Известкование

Из поверхностных вод, как правило, необходимо удалить взвеси и коллоидно-дисперсные вещества, включающие соединения железа. Освобождение воды от взвеси и коллоидных веществ возможно осуществить только путем ввода специальных реагентов-коагулянтов. Данный метод обработки воды называют коагуляцией. Коагулянт образует в воде хлопья, которые адсорбируют на своей поверхности коллоиды и выделяются в виде осадка.

Дозу определяют методом пробного коагулирования.

В качестве коагулянтов применяют:

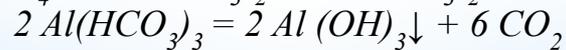
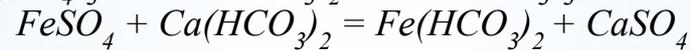
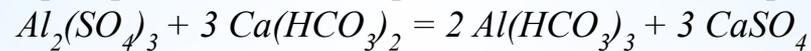
сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  при pH исходной воды 6,5-7,5;

сульфат железа (железный купорос)  $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$  при pH воды 4-10;

хлорное железо  $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$  для воды с pH 4-10.

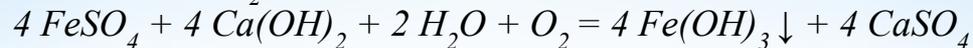
Для интенсификации процесса коагуляции в воду дополнительно вводят флокулянты (наиболее распространен полиакриламид). Флокулянты способствуют укрупнению осадка и ускоряют процесс слипания осаждаемых коллоидных и взвешенных частиц.

При достаточном содержании в воде карбонатной жесткости (выше 1 мг-экв/л) коагулянты вначале образуют неустойчивые бикарбонаты, которые разлагаются с образованием хлопьев гидроксидов:



При использовании железного купороса для образования хлопьев гидроксида железа необходимо наличие в воде растворенного кислорода.

Если карбонатная жесткость исходной воды невелика, то ее подщелачивают раствором гидроксида натрия или «известковым молоком» (раствор  $Ca(OH)_2$ ):



Осветление и обесцвечивание мутных вод с повышенной жесткостью предпочтительнее осуществлять коагулянтами при высоких значениях pH, а цветных мягких вод - при пониженных pH.

# Коагуляция и осветление. Известкование

При реализации процесса коагуляции температуру воды поддерживают в пределах 20-25 °С, а при осуществлении коагуляции с известкованием воду подогревают до 30-40 °С.

Дозу коагулянта сульфата алюминия обычно принимают в пределах 0,5-1,2 мг-экв/л. Для воды с умеренным (до 100 мг/л) содержанием взвеси и с небольшой окисляемостью дозу понижают, а для вод с содержанием железа и с высокой окисляемостью (15 мг/л  $O_2$  и выше) ее повышают до 1,5 мг-экв/л. Для цветных вод дозу можно ориентировочно определить по формуле:

$$D_k = 4 (Ц)^{0,5},$$

где  $D_k$  - доза коагулянта, мг/л; Ц - цветность воды, градусы.

Дозировка флокулянта полиакриламида в виде 0,1 %-ого раствора составляет 0,1-1,0 мг на каждый литр обрабатываемой воды (в пересчете на 100%-ный продукт). Флокулянт добавляют спустя 1-3 минуты после дозирования коагулянта с целью завершения формирования микрохлопьев и адсорбции загрязнений.

При необходимости подщелачивания воды дозу щелочи можно определить из выражения:

$$D_{щ} = Э_{щ} (D_k / Э_k - Щ + 1) * 100 / C,$$

где  $D_{щ}$  - доза щелочи, мг/л;

$Э_{щ}$  - эквивалентная масса активной части подщелачивающего реагента, равная для известки 28 (в пересчете на СаО) и 53 для соды (в пересчете на  $Na_2CO_3$ ), мг/мг-экв;

$Э_k$  - эквивалент безводного коагулянта, равный 57,02 мг/мг-экв для  $Al_2(SO_4)_3$ ; 75,16 -  $FeSO_4$ ; 54,07 -  $FeCl_3$ ;

Щ - общая щелочность исходной воды + 1 (резервная щелочность), мг-экв/л;

С - концентрация активного вещества в реагенте для подщелачивания, %.

Если величина  $D_{щ}$  при расчете оказывается отрицательна, то подщелачивания не требуется.

Когда в исходной воде содержание взвешенных веществ менее 100 мг/л, коагуляцию осуществляют непосредственно на осветлительных фильтрах с дозировкой коагулянта в подающий трубопровод. Расстояние от точки ввода коагулянта до фильтра должно составлять  $\geq 50$  диаметров трубопровода (50 Ду).

При концентрации взвеси более 100 мг/л в обрабатываемую воду помимо коагулянта вводят полиакриламид с соответствующим временным разрывом, а процесс ведут в осветлителе.

# Коагуляция и осветление. Известкование

Дозирующие насосы подбирают, исходя из максимальной дозы коагулянта. Суточный расход коагулянта (в пересчете на безводный 100 %-ный продукт, кг) определяют по формуле:

$$P_k = 24 * Q_{\text{час}} * \mathcal{E}_k * D_k / 1000,$$

где  $Q_{\text{час}}$  - производительность установки по воде, м<sup>3</sup>/ч;

$\mathcal{E}_k$  - эквивалент безводного коагулянта, равный 57,02 для  $Al_2(SO_4)_3$ ; 75,16 -  $FeSO_4$ ; 54,07 -  $FeCl_3$ ;

$D_k$  - максимально требуемая доза коагулянта, мг-экв/л.

Расход раствора коагулянта находят при помощи следующего соотношения:

$$V_k = 100 * P_k / (C_k * \rho_k), \quad (8)$$

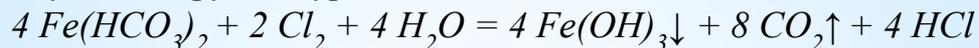
где  $V_k$  - суточный объем раствора коагулянта, м<sup>3</sup>/сутки;

$C_k$  - концентрация коагулянта в дозируемом растворе, обычно равна 5-10 %;

$\rho_k$  - плотность раствора коагулянта, кг/м<sup>3</sup>.

## ***Введение реагентов-окислителей***

*После обработки разных вод этим методом содержание железа во всех случаях остается меньше 0,1 мг/л, причем этот метод эффективен, когда другие приемы не работают. Под действием хлора происходит разрушение гуматов и других органических соединений железа и переход их в форму неорганических солей трехвалентного железа, которые легко гидролизуются. В результате гидролиза выпадает осадок гидроксида железа, либо продуктов неполного гидролиза - основных солей железа различного состава. Эти процессы можно условно описать следующим брутто-уравнением:*



*Как видно из уравнения вода подкисляется. По стехиометрии (по уравнению реакции) на окисление 1 мг двухвалентного железа расходуется 0,64 мг хлора, при этом щелочность снижается на 0,018 мг-экв/л. Хлор также окисляет двухвалентный марганец, сероводород, разрушает органические вещества.*

*Доза хлора в зависимости от содержания железа может составлять 5-20 г на 1 куб. метр воды при контакте, по крайней мере, 30 минут (не только для окисления железа, но и для надежного обеззараживания). При этом гигиенические требования допускают содержание свободного хлора в питьевой воде до 0,5 мг/л, а связанного до 1,2 мг/л.*

*СНиП определяет расчетную дозу хлора (в пересчете на 100 %, мг/л) для целей обезжелезивания следующим выражением:*

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

*где  $[\text{Fe}^{2+}]$  - концентрация двухвалентного железа в мг/л.*

*Дозу активного хлора для целей обеззараживания воды устанавливают на основе данных технологических изысканий. Если они отсутствуют, то для предварительных расчетов следует принимать 2-3 мг/л для поверхностной фильтрованной воды, 0,7-1,0 мг/л для вод из подземных источников.*

*Обработку воды хлором осуществляют с помощью хлораторов, в которых газообразный (испаренный) хлор абсорбируют водой. Хлорную воду из хлоратора подают к месту потребления. Хотя данный метод обработки воды и является наиболее распространенным, тем не менее, он обладает целым рядом недостатков. В первую очередь это связано со сложной транспортировкой и хранением больших объемов жидкого высокотоксичного хлора. На станциях водоподготовки необходимо наличие экологически опасных стадий хлорного хозяйства, таких как разгрузка емкостей с жидким хлором, его испарения для перевода в рабочую форму.*

## Введение реагентов-окислителей

Альтернативой хлорированию является обработка воды раствором гипохлоритом натрия ( $\text{NaClO}$ ), причем этот метод находит применение, как на больших станциях водоподготовки, так и на небольших объектах, в том числе и в частных домах.

Водные растворы гипохлорита натрия получают химическим:



или электрохимическим методом:



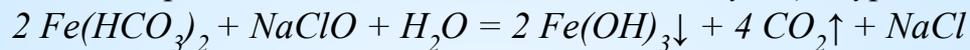
В соответствии с раствором гипохлорита натрия, получаемый по химическому методу, выпускается в виде трех марок. Ниже приведены показатели по составу продуктов.

Марка	«А»	«Б»	«В»
Содержание:			
активный хлор, г/л	190	170	120
гидроксид натрия, г/л	10-20	40-60	20-90

Гипохлорит натрия обладает рядом свойств, ценных в техническом отношении. Его водные растворы не имеют взвесей и поэтому не нуждаются в отстаивании, например, в противоположность хлорной извести. Применение гипохлорита натрия для обработки воды не вызывает увеличения ее жесткости, так как он не содержит солей кальция и магния как хлорная известь или гипохлорит кальция. Бактерицидный эффект раствора  $\text{NaClO}$ , полученного электролизом, выше, чем у других дезинфектантов, действующим началом которых является активный хлор. Кроме того, он обладает еще большим окислительным действием, чем растворы, приготовленные химическим методом из-за более высокого содержания хлорноватистой кислоты ( $\text{HClO}$ ).

## Введение реагентов-окислителей

Окисление двухвалентного железа происходит в соответствии со следующим уравнением:



Расчет установки для обработки воды гипохлоритом натрия в первую очередь требует определить расход активного хлора на процессы окисления, обеззараживания и разрушения сероводорода.

Требуемый расход активного хлора на обработку воду  $AХ$  (в пересчете на 100% хлор, г/ч) определяется следующим выражением:

$$AХ = Q_{\text{час}} * \{D_x + [\text{Fe}^{2+}] * K_{\text{Fe}} + [\text{Mn}^{2+}] * K_{\text{Mn}} + [\text{H}_2\text{S}] * K_{\text{СВ}}\},$$

где  $Q_{\text{час}}$  - объемный расход воды (максимальный), м<sup>3</sup>/ч;

$D_x$  - доза активного хлора для обеззараживания воды, мг/л;

$[\text{Fe}^{2+}]$  - содержание двухвалентного железа в исходной воде, мг/л;

$K_{\text{Fe}}$  - расход активного хлора для окисления железа (0,67 мг активного хлора на 1 мг двухвалентного железа);

$[\text{Mn}^{2+}]$  - содержание двухвалентного марганца в исходной воде, мг/л;

$K_{\text{Mn}}$  - расход активного хлора для окисления двухвалентного марганца (1,3 мг активного хлора на 1 мг марганца);

$[\text{H}_2\text{S}]$  - содержание сероводорода в исходной воде, мг/л;

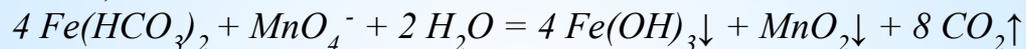
$K_{\text{СВ}}$  - расход активного хлора для разрушения сероводорода (2,1 мг активного хлора на 1 мг сероводорода).

Как следует из уравнения реакции в процессе окисления железа гипохлоритом натрия не происходит подкисления воды, а это очень важно для процесса фильтрации. Кроме того, раствор гипохлорита натрия как товарный, так и электрохимический, щелочной, что благоприятно для фильтрования.

## *Введение перманганата калия*

*Метод окисления двухвалентного железа путем введения в исходную воду перед фильтрами раствора перманганата калия  $KMnO_4$  является весьма эффективным. Последний может также вводиться в сочетании с гипохлоритом натрия с целью обработки сложных вод и экономии достаточно дорогостоящего окислителя - перманганата калия.*

*При обработке воды перманганатом реакция окисления железа с последующим гидролизом протекает по уравнению (упрощенная запись):*



*По уравнению (11) на окисление 1 мг  $Fe^{2+}$  тратится 0,71 мг перманганата калия, а щелочность воды снижается на 0,036 мг-экв/л. СНиП определяет расчетную дозу перманганата калия (в пересчете на 100 %, мг/л) для окисления железа и марганца при помощи следующего выражения:*

$$D_{нк} = [Fe^{2+}] + 2 * [Mn^{2+}],$$

*где  $[Fe^{2+}]$  - концентрация двухвалентного железа в исходной воде, мг/л;*

*$[Mn^{2+}]$  - концентрация двухвалентного марганца, мг/л.*

*Для приготовления рабочих растворов перманганата калия следует руководствоваться данными по растворимости перманганата в воде:*

*при температуре 20 °С 6,34 г  $KMnO_4$  на 100 г воды;*

*при 60 °С 22,2 г  $KMnO_4$  на 100 г воды.*

*При совместном введении в обрабатываемую воду перманганата калия и гипохлорита натрия дозы этих реагентов (в пересчете на 100% продукт, мг/л) можно определить из уравнений:*

$$D_{нк} = 0,2 * [Fe^{2+}] + 2 * [Mn^{2+}],$$

$$D_{гн} = 0,7 * [Fe^{2+}].$$

*При сравнении уравнений следует, что совместный ввод реагентов позволяет сэкономить до 80% перманганата калия. Введение перманганата перед подачей гипохлорита натрия разрушает органические вещества, вступающие в реакцию с хлором с образованием продуктов с резким запахом, например фенолы. Если ввод реагентов осуществить в другой последовательности, то перманганат калия будет разрушать образованные хлорпродукты.*

# Окисление железа озонированием

Одним из перспективных методов окисления железа является озонирование. Озон  $O_3$  является одним из самых сильных окислителей, уничтожающих бактерии, споры и вирусы. По сравнению с хлором применение озона оказывается более эффективным для окисления детергентов, гербицидов, пестицидов, фенолов и для окисления других трудно окисляемых химических соединений. Одновременно с обеззараживанием идут процессы окисления двухвалентного железа и марганца, обесцвечивание воды, а также ее дезодорация и улучшение органолептических свойств.

Озон получают из воздуха в специальных аппаратах - озонаторах. В озонаторе при прохождении электрического тока через разрядное пространство с воздухом происходит разряд коронного типа, в результате чего из кислорода воздуха образуется озон.

По стехиометрии можно определить дозу озона на окисление двухвалентного железа по следующему выражению:

$$D_{O_3} = 0,14 * [Fe^{2+}], \text{ мг/л}$$

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

Доза озона зависит от цели, для которой используют озонирование воды. Для обеззараживания фильтрованной воды доза озона составляет 1-3 мг/л, для обработки подземных вод - 0,75-1 мг/л. При введении озона для окисления железа, обесцвечивания воды с одновременным обеззараживанием доза может достигать до 4 мг/л. Озоно-воздушную смесь из озонатора вводят в воду с помощью эжекторов или через сеть пористых труб, уложенных в камерах смешения.

Концентрация остаточного озона после камер смешения должна быть 0,1-0,3 мг/л. Продолжительность контакта озона с водой зависит от состава воды, концентрации озона в озоно-воздушной смеси, конструкции смесителя, температуры и в среднем составляет 5-20 минут, часто 5-12 минут.

**Недостаток:** озон высокотоксичен и может поражать органы дыхания. Предельно-допустимая концентрация озона в воздухе рабочей зоны (ПДК р.з.) составляет 0,1 мг/м<sup>3</sup>. Для сравнения можно указать, что для хлора эта величина в 10 раз менее жесткая и равна 1 мг/м<sup>3</sup>.

Хотя метод озонирования имеет блестящие перспективы, однако оборудование пока достаточно дорогостоящее, а процесс характеризуется сравнительно большим расходом электроэнергии.

## *Напорные фильтры обезжелезивания*

*Скорые фильтры имеют достаточно высокую производительность при сравнительно небольших габаритах, что позволяет существенно сократить производственные площади. Их отличает высокая надежность работы с точки зрения возможности проскока загрязнителей в процессе фильтрования. Работу скорых фильтров можно полностью автоматизировать, т.е. обеспечить их периодическую промывку в зависимости от количества очищенной воды или по таймеру. В технологических схемах водоподготовки они хорошо сочетаются с установками аэрации, системами для ввода реагентов-окислителей и коагулянтов.*

*Использование в таких фильтрах наполнителей с каталитическими свойствами позволяет существенно упростить схему очистки воды за счет обеспечения возможности очистки воды одновременно от нескольких видов загрязнителей.*

*При проектировании водоочистных станций нужно учитывать, чтобы фильтры и коммуникации могли работать, как в нормальном, так и в форсированном режимах. Это необходимо для обеспечения возможности ремонта части фильтров. На станции с количеством фильтров до 20 должна быть обеспечена возможность отключения на ремонт одного фильтра, а при большем количестве - двух фильтров.*

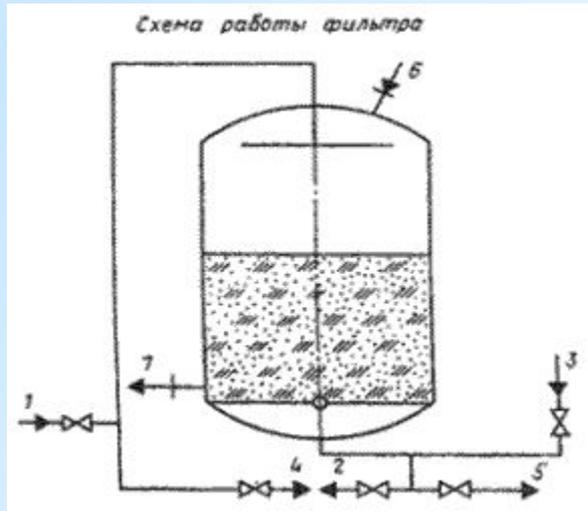
*Расчет скорых фильтров определяет площадь поверхности фильтрования, требуемого количества фильтров, подбор наполнителя. Для конкретного наполнителя определяется скорость фильтрования, объем очищенной воды за фильтроцикл, расход реагента на регенерацию фильтра, время регенерации, объем промывной воды.*

*В предыдущем разделе приведены формулы (1-3) для расчета фильтрующей поверхности, количества фильтров с обеспечением возможности работы фильтров в форсированном режиме. Скорость фильтрации зависит от материала наполнителя, размера его зерен, способа загрузки, высоты слоя наполнителя. Для скорых фильтров скорость фильтрования обычно составляет 5-12 м/ч.*

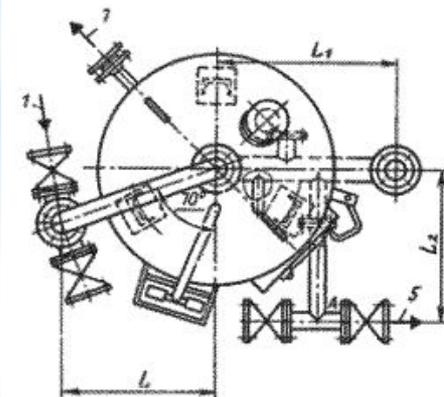
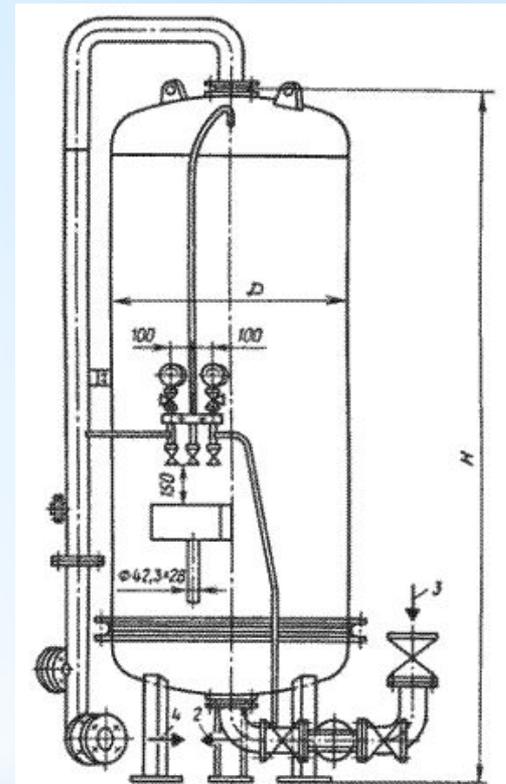
## Напорные фильтры обезжелезивания

Фильтры	Характеристика фильтрующего слоя				Скорость фильтрования, м/ч		
	Материал загрузки	Диаметр зерен, мм			Высота слоя, м	при норм. режиме	при форсированном режиме
		Мин.	Макс.	Эквивалентный			
Однослойные скорые фильтры с загрузкой различной крупности	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7-0,8	0,7-0,8	5-6	6 -7,5
		0,7	1,6	0,8-1	1,3-1,5	6-8	7-9,5
		0,8	2	1-1,2	1,8-2	8-10	10-12
	Дробленый керамзит	0,5	1,2	0,7-0,8	0,7-0,8	6-7	7-9
		0,7	1,6	0,8-1	1,3-1,5	7-9,5	8,5-11,5
		0,8	2	1-1,2	1,8-2	9,5-12	12-14
Скорые фильтры с двухслойной загрузкой	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7-0,8	0,7-0,8	7-10	8,5-12
	Дробленый керамзит или антрацит	0,8	1,8	0,9-1,1	0,4-0,5		

# Напорные фильтры обезжелезивания

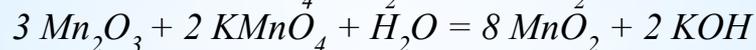


1 - Подвод исходной воды; 2 - Отвод обработанной воды; 3 - Подвод промывочной воды; 4 - Отвод промывочной воды; 5 - Сброс первого фильтрата; 6 - Гидрозагрузка фильтрующего материала; 7 - Гидровыгрузка фильтрующего материала.



# *Каталитические зернистые загрузки напорных фильтров*

*Каталитические наполнители, такие как дробленый пиролюзит  $MnO_2 \cdot H_2O$ , «черный песок» и сульфоуголь, покрытый оксидами марганца позволяют вести процесс фильтрования со скоростью 10 м/ч при высоте слоя наполнителя 1 м. Механизм действия катализатора основан на способности соединений марганца сравнительно легко, изменять валентное состояние. Двухвалентное железо в исходной воде окисляется высшими оксидами марганца. Последние восстанавливаются до низших ступеней окисления, а далее вновь окисляются до высших оксидов растворенным кислородом и перманганатом калия:*



*«Черный песок» получают путем обработки кварцевого песка с размером частиц 0,5-1,2 мм 1%-ым раствором перманганата калия с его подщелачиванием до pH 8,5-9 раствором аммиака.*

*Для обработки сульфоугля используют 10%-ый раствор хлорида марганца  $MnCl_2$ . Далее через него фильтруют 1%-ый раствор перманганата калия. Марганец вытесняется из структуры наполнителя и осаждается на поверхности угля в виде пленки.*

# Manganese Greensand (MGS)

*Manganese Greensand («зеленый песок»)* - фильтрующий материал из минерала глауконита, который является продуктом вулканического происхождения мелового периода. В состав глауконита входят железо, калий и алюмосиликаты. Зерна наполнителя покрыты оксидами марганца.

*Greensand* начал использоваться в США с 20-х годов прошлого века: вначале как природный цеолит для умягчения воды путем ионного обмена, а *Manganese Greensand* - с 50-х годов для удаления из воды железа, марганца и сероводорода.

Растворенные в воде соединения двухвалентных железа и марганца окисляются при контакте с высшими оксидами марганца на поверхности зерен MGS. Параллельно окисляется и сероводород до свободной серы. Окисленное железо и марганец выпадают в осадок и вместе с серой задерживаются зернистой структурой MGS. Удержанные примеси удаляются из наполнителя обратной промывкой.

Имеются сведения о способности данного наполнителя удалять также радий и мышьяк из грунтовых вод.

Для восстановления окислительной способности катализатора используют периодическую или непрерывную регенерацию раствором перманганата калия. Наиболее распространены схемы, в которых остановка работы фильтра на промывку наполнителя совмещена с восстановлением окислительной способности. Эксплуатация фильтров с истощенным каталитическим слоем сокращает ресурс их работы и может полностью вывести из строя.

Фильтрация на MGS очень хорошо сочетается с дозированием раствора гипохлорита натрия в подающий трубопровод. При этом эффективность фильтрации возрастает, увеличивается фильтроцикл, снижается расход перманганата.

## **Основные характеристики**

### **Manganese Greensand:**

цвет черный;	механический износ в год, % 2
насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> 1,4	высота фильтрующего слоя, мм 760-800
плотность гранул, г/см <sup>3</sup> 2,4-2,9	пространство над загрузкой, % 35-50
коэффициент неоднородности 1,4-1,6	скорость фильтрования, м/ч 5-12
размер гранул, мм 0,25-1,2	скорость обратной промывки, м/ч 20-29

# Manganese Greensand (MGS)

## Фильтрующая среда *Virm*

*Virm* - искусственный цеолит, покрытый оксидами марганца и железа в виде гранул черного цвета. Он является эффективным и экономичным фильтрующим материалом с каталитическими свойствами для удаления железа при низких и средних концентрациях. Катализатор, в основном оксиды марганца, ускоряет процесс окисления двухвалентных железа и марганца растворенным в воде кислородом воздуха. Окисленное железо в виде гидроксида и марганец в виде оксида осаждаются на гранулах загрузки фильтра и удаляются в дренажную линию в процессе обратной промывки фильтра. Главное достоинство *Virm* в том, что этот наполнитель не требует химических реагентов при регенерации. В процессе фильтрования также происходит снижение мутности и цветности.

## Основные характеристики *Virm*:

Требования к исходной воде:

суммарное содержание железа  $Fe^{2+}$   
не более - 3 мг/л;

растворенный сероводород - отсутствие;

водородный показатель pH - не менее 6,8;

твердые абразивные частицы - отсутствие;

содержание растворенного кислорода - на 15% больше концентрации железа;

окисляемость перманганатная - не более 3,0 мгО<sub>2</sub>/л;

содержание бикарбонатов - в 2 раза выше суммы содержания хлоридов и сульфатов;

температура +5 - +35 °С.

Частота регенераций не реже одного раза в неделю или чаще.

Срок службы наполнителя *Virm* среды 2-3 года, после чего требуется перегрузка фильтра.

Как уже отмечалось выше, *Virm* является эффективным наполнителем, не требующим химических реагентов для восстановления своих свойств. Однако по сравнению с Manganese Greensand диапазон его использования как каталитического наполнителя гораздо уже по уровню концентрации железа и марганца в исходной воде. Имеются гораздо больше ограничений при его эксплуатации, в частности должно быть отсутствие сероводорода, более низкая окисляемость воды. Почти в 2 раза ниже ресурс его работы. При его использовании почти всегда требуется дополнительная аэрация воды перед фильтрованием. Из практики известны случаи, что без аэрации даже при сравнительно небольшом содержании железа около 1 мг/л, возможен «проскок» железа до 0,5 мг/л.

## Физико-химические методы водоподготовки

цвет черный;	
насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> 0,6-0,8	высота фильтрующего слоя, мм 750-900
плотность гранул, г/см <sup>3</sup> 2,0	пространство над загрузкой, % 35-40
коэффициент неоднородности 1,7	скорость фильтрования, м/ч 9-12
размер гранул, мм 0,4-2	скорость обратной промывки, м/ч 24-30

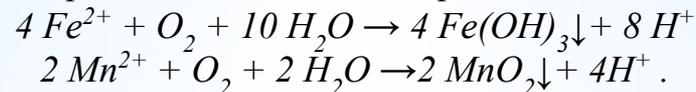
# Фильтрующая среда МЖФ

В 2000 году специалистами компании «Альянс-Нева» создана технология производства нового фильтрующего материала МЖФ, способного работать при концентрации железа в исходной воде до 50 мг/л, марганца до 2 мг/л и при низких значениях рН, низкой щелочности и высоком содержании углекислоты.

МЖФ - продуктом переработки пород, содержащих доломит. Это пористый материал, состоящий из смеси оксидов и карбонатов кальция и магия, а также оксидов алюминия и кремния. В порах наполнителя закреплен каталитический компонент - диоксид марганца, равномерно распределенный по объему зерна, что обеспечивает стабильность его работы практически в течение всего ресурса, поскольку при истирании гранул химический состав поверхности не изменяется.

В процессе фильтрования наполнитель придает воде буферные свойства. Благодаря этому при потоках принятых для режима фильтрации 5-15 м/ч, независимо от рН исходной воды и концентрации в ней железа и марганца, величина рН очищенной воды поддерживается в диапазоне 6,5-8,5, который общепринят для питьевой воды. Можно сказать, что этот наполнитель еще и выполняет функции корректора кислотности воды.

МЖФ - как катализатор ускоряет процессы реакции окисления кислородом воздуха как двухвалентных железа и марганца, сероводорода, так и некоторых органических веществ, например гуматы и остатки фульвовых кислот. Буферные свойства МЖФ очень важны, так как при окислении железа и марганца происходит подкисление воды, что неблагоприятно для процесса фильтрования, а МЖФ поддерживает величину рН не ниже 6,5.



Для обеспечения работы наполнителя исходную воду перед фильтрованием необходимо аэрировать, либо ввести реагент-окислитель из ряда гипохлорит натрия, хлор, озон или перманганат калия.

Основные характеристики МЖФ:

цвет коричнево-бурый;

плотность гранул, г/см<sup>3</sup> 2,45-2,55

размер гранул, мм 0,5-1,5

высота фильтрующего слоя, мм 700

скорость обратной промывки, м/ч 36

насыпная плотность, г/см<sup>3</sup> 1,35-1,4

коэффициент неоднородности 1,2-2,0

механический износ в год, % 5

скорость фильтрования, м/ч 5-15

Требования к исходной воде: содержание железа  $\text{Fe}^{2+}$  - до 50 мг/л; содержание марганца  $\text{Mn}^{2+}$  - до 2 мг/л;

водородный показатель рН - 4,5-9,0; растворенный сероводород - допустимо; нефтепродукты - допустимо.

Удельная сорбционная емкость наполнителя МЖФ по железу (на 1 л сорбента) за фильтроцикл после регенерации

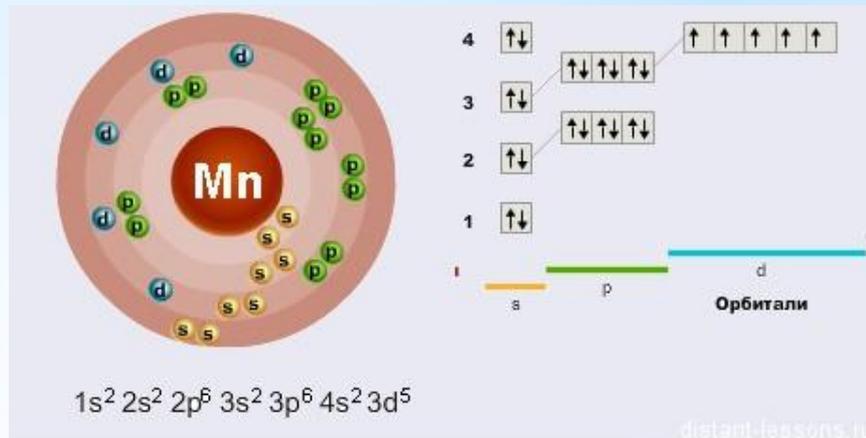
составляет 2 г.

**Физико-химические методы водоподготовки**

# Основные сведения о марганце. Строение атома.

Марганец присутствует в земной коре в большом количестве и обычно встречается вместе с железом. Содержание растворимого марганца в подземных и поверхностных водах, бедных кислородом, достигает нескольких мг/л. Российские санитарные нормы ограничивают уровень предельно-допустимого содержания марганца в воде хозяйственно-питьевого назначения до 0,1 мг/л, а в некоторых странах Европы эта величина ниже 0,05 мг/л. Превышение содержания марганца ухудшает органолептические свойства воды. При уровне выше 0,1 мг/л марганец приводит к появлению пятен на санитарно-технических изделиях, а также нежелательного привкуса воды. На трубопроводах образуется пленка, которая отслаивается в виде черного осадка.

## Строение атома марганца



В подземных водах марганец находится в виде хорошо растворимых солей в двухвалентном состоянии. Для удаления марганца из воды его необходимо перевести в нерастворимое состояние окислением  $Mn^{2+}$  в  $Mn^{3+}$  и  $Mn^{4+}$ . Окисленные формы марганца гидролизуются с образованием практически нерастворимых гидроксидов  $Mn(OH)_3$  и  $Mn(OH)_4$ . Последний при осаждении на зернистой загрузке фильтра проявляет каталитические свойства, т.е. ускоряет процесс окисления двухвалентного марганца растворенным кислородом.

Для эффективного окисления марганца необходимо, чтобы величина pH очищаемой воды была на уровне 8,0-8,5. В качестве окислителя применяют перманганат калия, хлор или его производные (гипохлорит натрия), озон, кислород воздуха.

Стандартный окислительный потенциал реакции  $MnO_2 + 4H^+/Mn^{2+} + 2H_2O$  составляет +1,23 В

## *Глубокая аэрация с последующим фильтрованием*

*На первом этапе очистки из воды под вакуумом извлекают свободную углекислоту, что способствует повышению величины рН до 8-8,5. Для этой цели используют вакуумно-эжекционный аппарат, при этом в его эжекционной части происходит диспергирование воды и ее насыщение кислородом воздуха. Далее вода направляется на фильтрацию через зернистую загрузку, например кварцевый песок.*

*Данный метод очистки применим при окисляемости исходной воды не выше 9,5 мг О<sub>2</sub>/л. При этом в воде обязательно присутствие двухвалентного железа, при окислении которого образуется гидроксид железа, адсорбирующий  $Mn^{2+}$  и каталитически его окисляющий. Соотношение концентраций  $[Fe^{2+}] / [Mn^{2+}]$  не должно быть менее 7/1. Если в исходной воде это соотношение не выполняется, то в воду дополнительно дозируют сульфат железа (железный купорос).*

## *Деманганация перманганатом калия*

*Этот метод применим как для поверхностных, так и для подземных вод. При введении в воду перманганата калия растворенный марганец окисляется с образованием малорастворимого оксида марганца согласно следующему уравнению:*



*Осажденный оксид марганца в виде хлопьев имеет высокую развитую удельную поверхность примерно 300 м<sup>2</sup> на 1 г осадка, что определяет его высокие сорбционные свойства.*

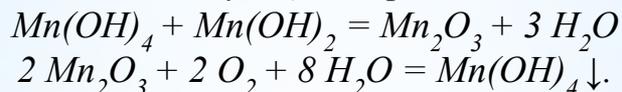
*В соответствии с уравнением для удаления 1 мг  $\text{Mn}^{2+}$  требуется 1,88 мг перманганата калия. Как уже отмечалось выше, перманганат обеспечивает удаление из воды не только марганца, но и железа в различных формах. Также удаляются запахи и улучшаются вкусовые качества воды за счет сорбционных свойств.*

*Экспериментальные данные по удалению марганца с помощью перманганата калия показывают, что для снижения концентрации  $\text{Mn}^{2+}$  в воде до 97 % доза перманганата должна составлять 2 мг на каждый мг марганца. После введения перманганата вводят коагулянт для удаления продуктов окисления и взвешенных веществ и далее фильтруют на песчаной загрузке.*

*При очистке от марганца подземных вод параллельно с перманганатом вводят активированную кремневую кислоту из расчета 3-4 мг/л или флокулянты. Это позволяет укрупнить хлопья оксида марганца.*

## *Каталитическое окисление марганца*

*Как и в процессах очистки от железа, так и при деманганации предварительное осаждение оксидов марганца на поверхности зерен фильтрующей загрузки оказывает каталитическое влияние на процесс окисления двухвалентного марганца растворенным кислородом. В процессе фильтрования предварительно аэрированной и при необходимости подщелоченной воды на зернах песчаной загрузки образуется слой осадка гидроксида марганца  $Mn(OH)_4$ . Ионы растворенного  $Mn^{2+}$  адсорбируются поверхностью гидроксида марганца и гидролизуются, образуя оксид трехвалентного марганца  $Mn_2O_3$ . Последний окисляется растворенным кислородом вновь до  $Mn(OH)_4$ , который опять участвует в процессе каталитического окисления. Уравнения реакций этих процессов можно представить следующим образом:*



*Практическая реализация процессов (2) и (3) возможна при использовании каталитических зернистых загрузок. В этом же разделе приведены требования к исходной воде и рабочие параметры процессов. Можно отметить, что величина pH очищаемой воды может быть значительно меньше, чем в традиционных процессах деманганации (8,0-8,5).*

## *Введение реагентов-окислителей*

*Скорость процесса окисления двухвалентного марганца реагентами-окислителями из ряда хлор, диоксид хлора  $\text{ClO}_2$ , гипохлорит натрия, озон в значительной мере зависит от величины рН исходной воды.*

*При введении хлора или гипохлорита натрия эффект окисления достигается в достаточно полной мере при значениях рН не менее 8,0-8,5 и времени контакта окислителя и воды 60-90 минут. В большинстве случаев обрабатываемая вода должна быть подщелочена. Требуемая доза реагента для окисления  $\text{Mn}^{2+}$  до  $\text{Mn}(\text{OH})_4$  по стехиометрии составляет 1,3 мг на каждый мг растворенного двухвалентного марганца. Фактические дозы значительно выше.*

*Обработка воды озоном или диоксидом хлора значительно эффективнее. Процесс окисления марганца завершается в течение 10-15 минут при величине рН воды 6,5-7,0. Доза озона по стехиометрии составляет 1,45 мг, а диоксида хлора 1,35 мг на 1 мг двухвалентного марганца. Однако при озонировании воды озон подвержен каталитическому разложению оксидами марганца, а поэтому доза должна быть увеличена. При концентрации  $\text{Mn}^{2+}$  0,4 мг/л расход озона составляет 2 мг/мг [ $\text{Mn}^{2+}$ ], а при 0,8 мг/л - 4 мг/мг [ $\text{Mn}^{2+}$ ].*

# *Фторирование и дефторирование воды*

# Содержание фтора в природных водах и гигиенические нормативы

Фторирование воды началось осуществляться с 1945 г., применявшиеся другие методы профилактики кариеса зубов не имели успеха и заболеваемость населения кариесом непрерывно росла. С 1957 г. впервые в истории развития водоснабжения в нашей стране началось фторирование воды в г. Норильске, рассматриваемое как мера профилактики заболеваний кариесом зубов.

Оптимальной концентрацией фтора в питьевой воде является 0,7...1,2 мг/л. Более низкие концентрации фтора принимают при фторировании в южных районах и в летний период, когда количество воды, поступающей в организм человека, увеличивается. Более высокие концентрации фтора принимают при фторировании воды в северных районах и в зимний период, т. е. при более низкой температуре окружающей среды. Необходимость фторирования определяется содержанием фтора в воде источников в количестве менее 0,5 мг/л. Концентрация в воде фторид-ионов не должна превышать 1,5 мг/л.

Концентрация фторид-ионов в природных водах нашей планеты варьирует в широких пределах — от 0,01 до 50—100 мг/л (Кения), в природных водах России от 0,01 до 8 мг/л. Низкие концентрации фторид-ионов встречаются в большинстве поверхностных источников водоснабжения. И лишь в открытых водоемах Южного Урала, Западной Сибири концентрация фторид-ионов достигает 11 мг/л.

Подземные воды (артезианские, колодезные) богаче фторид-ионами, чем поверхностные, и среди них чаще встречаются источники с концентрацией фторид-ионов, превышающей предельно допустимую (1,5 мг/л).

Однако, и среди этих источников 68—89% в России содержат менее 0,5 мг/л фторид-ионов.

Свыше 85% воды в города России подается из рек, причем содержание фторид-ионов в воде этих источников, превышающее 0,4 мг/л, встречается в редких случаях, да и это количество после обработки воды на очистных сооружениях снижается до предельно низкой величины.

# Технология фторирования воды

Для фторирования питьевой воды может быть использован ряд фторсодержащих соединений, таких как кремнефтористый натрий  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , кремнефтористая кислота  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , фтористый, натрий  $\text{NaF}$ , кремнефтористый аммоний  $[(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6]$ , фтористый кальций  $\text{CaF}_2$ , фтористоводородная кислота  $\text{HF}$ , кремнефтористый калий  $\text{K}_2\text{SiF}_6$ , кремнефтористый алюминий, фтористый алюминий  $\text{AlF}_3$  и ряд других. В США и Канаде применяют для фторирования питьевой воды на 60% действующих установок кремнефтористый натрий, на 25% — кремнефтористоводородную кислоту, на 13% — фтористый натрий и на 2% установок применяют другие реагенты (кремнефтористый аммоний, фтористый кальций, фтористоводородную кислоту и т.д.).

В отечественной практике наиболее широкое применение получил кремнефтористый натрий, менее широкое — фтористый натрий и фторид-бифторид аммония.

Кремнефтористый натрий (ГОСТ 87—87\*) — молекулярная масса 188,05, плотность 2,7 г/см<sup>3</sup> — представляет собой мелкий, сыпучий, негигроскопический кристаллический порошок белого цвета (допускается серый или желтый оттенок), без запаха, удобен в эксплуатации. При длительном хранении на складе в закрытых бочках не слеживается. Плотность насыщенного раствора 1,0054, рН насыщенного раствора 3,5...4,0. В воде растворяется плохо.

Показатели	Кремнефтористый натрий			Кремнефтористый аммоний	Фтористый натрий			Кремнефтористоводородная кислота
	высший сорт	сорт 1	сорт 2		высший сорт	сорт 1	сорт 2	
Молекулярная масса		188,05		178,14		42		144,08
Содержание чистого продукта в техническом, %	98	95	93	93	94	84	80	98
Содержание фтора в чистом продукте, %		60,6		63,9		45,25		79,2
Содержание фтора в техническом продукте, %	59,4	57,5	56,4	59,4	42,5	38	36,2	66,3
Количество технического продукта, мг, необходимое для получения 1 мг/л	1,68	1,74	1,78	1,68	2,35	2,63	2,76	15,9
Стоимость 1 т технического продукта, руб., в ценах 1984 г.	177,6	95	82	105	236	210,5	200	4,3
Сравнительная стоимость реагентов, %	136	113,5	100	121,5	382	381	380	47

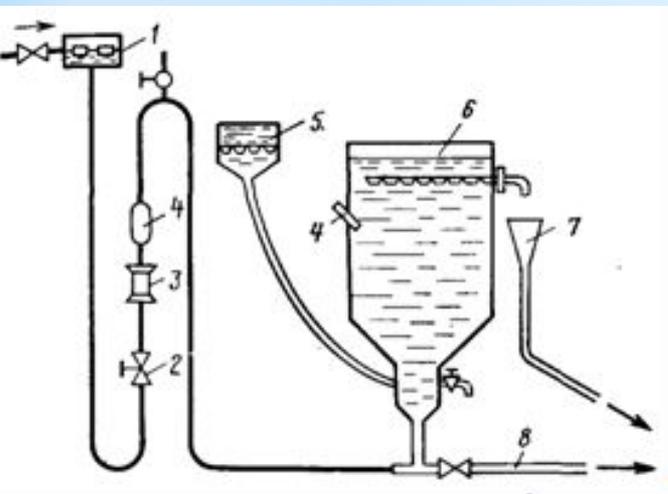
# Установки приготовления растворов фторсодержащих соединений

## Установка сатураторного типа

1 — бак постоянного уровня; 2 — регулирующий вентиль; 4 — термометр; 5 — воронка приема реагента; 3 — ротаметр; 7 — прием и отвод раствора реагента; 6 — сатуратор одинарного насыщения; 8 — сброс в канализацию

В качестве реагента принят порошкообразный кремнефтористый натрий, который вводится в воду перед хлорированием.

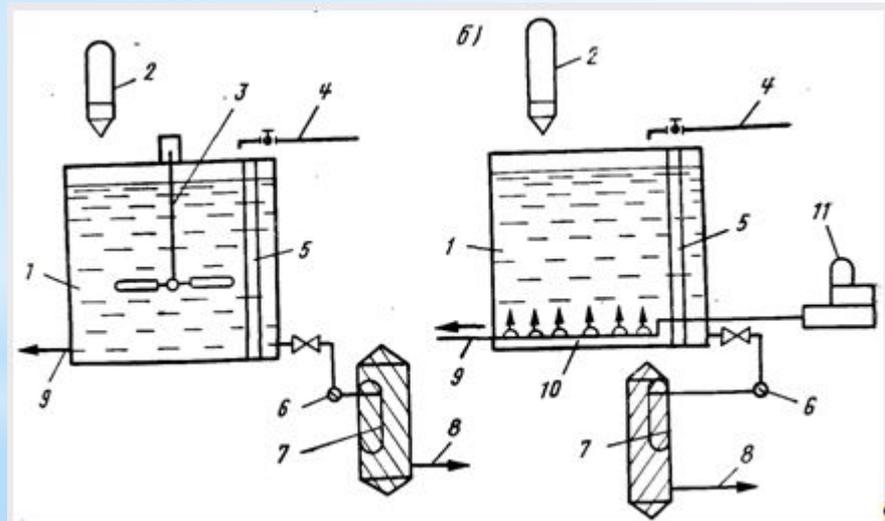
Предварительно реагент замачивают и размешивают в баке, а затем выливают через воронку в сатуратор (один раз в смену). В камере для реагента должно быть 8...10 кг кремнефтористого натрия. В основу работы фтораторной установки положен принцип объемного вытеснения.



## Установка с растворным баком

1 — растворный бак; 2 — бункер с дозирующим устройством; 3 — механическая мешалка; 4 — подача воды; 5 — поплавковое устройство; 6 — насос; 7 — напорный фильтр для осветления раствора фторсодержащего реагента; 8 — фторпровод; 9 — сброс осадка; 10 — воздухораспределительная система; И — воздуходувка

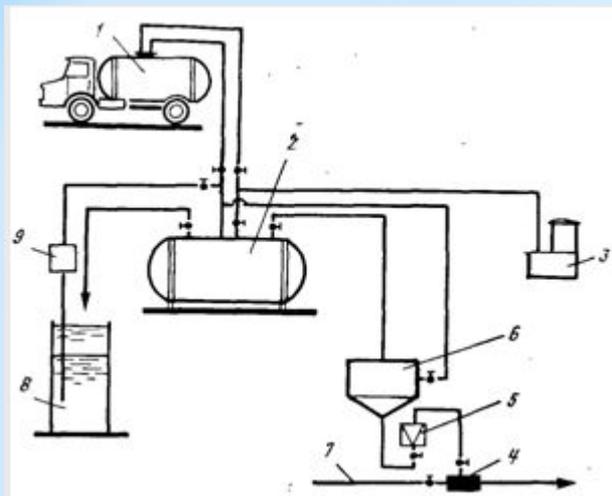
Во фтораторных установках с растворными баками в качестве реагента применяют кремнефтористый натрий.



Загрузку в баки реагента осуществляют с помощью бункеров, оборудованных вибраторами и дозаторами барабанного типа. Для лучшего растворения реагента баки оборудованы мешалкой с частотой вращения 50...60 мин-1. Время перемешивания 2 ч. время отстаивания 2 ч.

Концентрация раствора реагента в баках составляет 0,05% по фтору или 0,08% по чистой соли.

# Установки приготовления растворов фторсодержащих соединений



Установка с использованием кремнефтористой кислоты  
1, 2 — авто- и стационарная цистерна; 3 — воздухоудувка; 4 — эжектор; 5 — ротаметр; 6 — бак-мерник; 8 — емкость; 9 — ручной насос; 7 — водопровод

В зарубежной практике часто фтористые соединения вводятся в воду в сухом виде — непосредственно порошком, сухими дозаторами, через растворную камеру. Дозаторы сухих реагентов применяют двух видов: объемные и массовые. Объемные дозаторы (рисунок) подают определенный объем вещества за расчетный промежуток времени, массовые — массовое количество вещества. Основное отличие их состоит в следующем: объемные дозаторы, которые конструктивно проще и дешевле, имеет точность дозирования 3...5% массовые—1%; массовые дозаторы легче оборудовать записывающим устройством для регистрации дозируемого реагента и устройством для автоматической подачи реагента в воду. Важной и неотъемлемой частью сухих дозаторов является растворная камера. При непосредственном вводе сухих реагентов в воду они падают на дно нерастворенными. Максимальную концентрацию реагента в растворной камере принимают равной 1/4 концентрации насыщенного раствора при обычной температуре воды. Вместимость растворных камер принимают не менее 20 л. Для более полного смешения реагента с водой и его лучшего растворения предусматривают электрические мешалки или форсунки. Для точного регулирования количества воды, поступающей в растворную камеру, применяют различные водомеры. Из камеры раствор вводят в обрабатываемую воду.

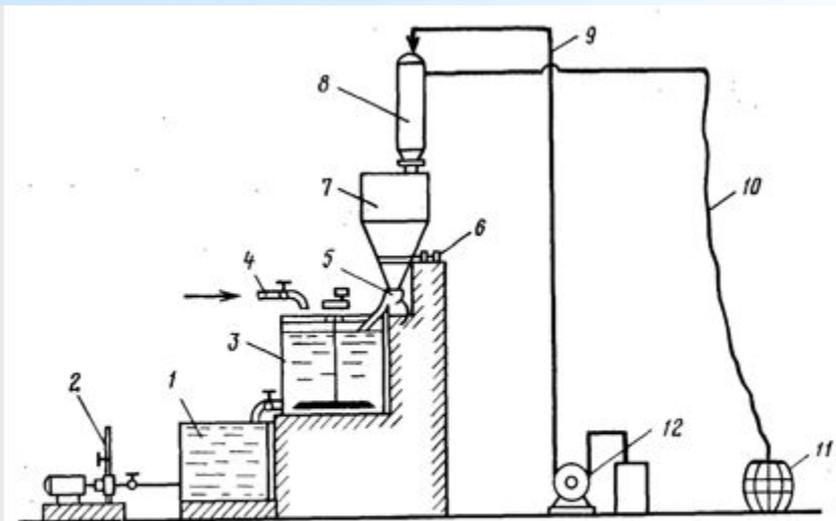


Рис. 16.4. Фтораторная установка сухого дозирования.

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

# Расчет дозы фторсодержащего реагента

Дозу фторсодержащего реагента находят по формуле

$$D_{\text{ф}} = 10^4 \frac{m_{\text{ф}} a_{\text{ф}} - \Phi}{K_{\text{ф}} C_{\text{ф}}}$$

где  $m_{\text{ф}}$  — коэффициент, зависящий от места ввода фтора в обрабатываемую воду, принимаемый при вводе фтора после очистных сооружений равным 1,0, при вводе фтора перед контактными осветлителями или фильтрами — 1,1;  $a_{\text{ф}}$  — содержание фтора в обработанной воде, мг/л (оптимальная концентрация фтора в питьевой воде), равное для средней полосы России для зимнего периода—1, для летнего периода — 0,8;  $\Phi$  — содержание фтора в исходной воде, мг/л,  $K_{\text{ф}}$  — содержание фтора в чистом реагенте, %, равное для кремнефтористого натрия — 60,6, для кремнефтористого аммония — 63,9, для фтористого натрия — 45,25,  $C_{\text{ф}}$  — содержание чистого реагента в продажном техническом продукте, %, равное для кремнефтористого натрия высшего, I и II сортов соответственно 59,4; 57,5 и 56,4, для фтористого натрия — 42,5; 38; 36,2, а для кремнефтористого аммония, выпускаемого промышленностью одним сортом, — 59,4.

# Технология дефторирования воды

Методы дефторирования подразделяются на две группы:

- 1) Метод сорбции фтора осадком гидроксида алюминия или магния, а также фосфата кальция целесообразно применять при обработке поверхностных вод, когда кроме обезфторивания требуются еще осветление и обесцвечивание. Вместе с тем этот метод может найти применение для обработки подземных вод при необходимости их одновременного умягчения (реагентным методом) и обезфторивания.
- 2) Метод фильтрования воды через фторселективные материалы основан на обменной адсорбции ионов, при которой фтор удаляется в процессе пропускания обрабатываемой воды через сорбент. Этот метод наиболее эффективен при обезфторивании подземных вод, как правило, не нуждающихся в других видах кондиционирования, или в тех случаях, когда одновременно с обезфториванием производят еще и опреснение.

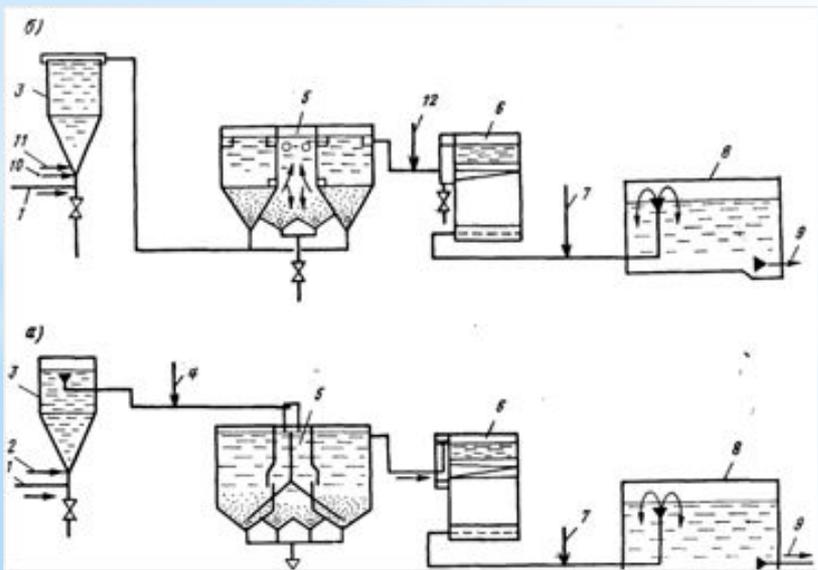
где  $t_{\text{ф}}$  — коэффициент, зависящий от места ввода фтора в обрабатываемую воду, принимаемый при вводе фтора после очистных сооружений равным 1,0, при вводе фтора перед контактными осветлителями или фильтрами — 1,1;  $a_{\text{ф}}$  — содержание фтора в обработанной воде, мг/л (оптимальная концентрация фтора в питьевой воде), равное для средней полосы России для зимнего периода — 1, для летнего периода — 0,8;  $\Phi$  — содержание фтора в исходной воде, мг/л,  $K_{\text{ф}}$  — содержание фтора в чистом реагенте, %, равное для кремнефтористого натрия — 60,6, для кремнефтористого аммония — 63,9, для фтористого натрия — 45,25,  $C_{\text{ф}}$  — содержание чистого реагента в продажном техническом продукте, %, равное для кремнефтористого натрия высшего, I и II сортов соответственно 59,4; 57,5 и 56,4, для фтористого натрия — 42,5; 38; 36,2, а для кремнефтористого аммония, выпускаемого промышленностью одним сортом, — 59,4.

# Обесфторивание воды гидроксидами магния и алюминия

Обесфторивание воды гидроксидом магния, который образуется в магнийсодержащей воде в присутствии извести, позволяет снизить содержание в воде и магния. Остаточное содержание фтора в воде после ее известкования определяется по формуле Скотта:

$$\Phi_{\text{ост}} = \Phi_{\text{исх}} - 0,07 \Phi_{\text{исх}} (\text{Mg})^{0,5};$$

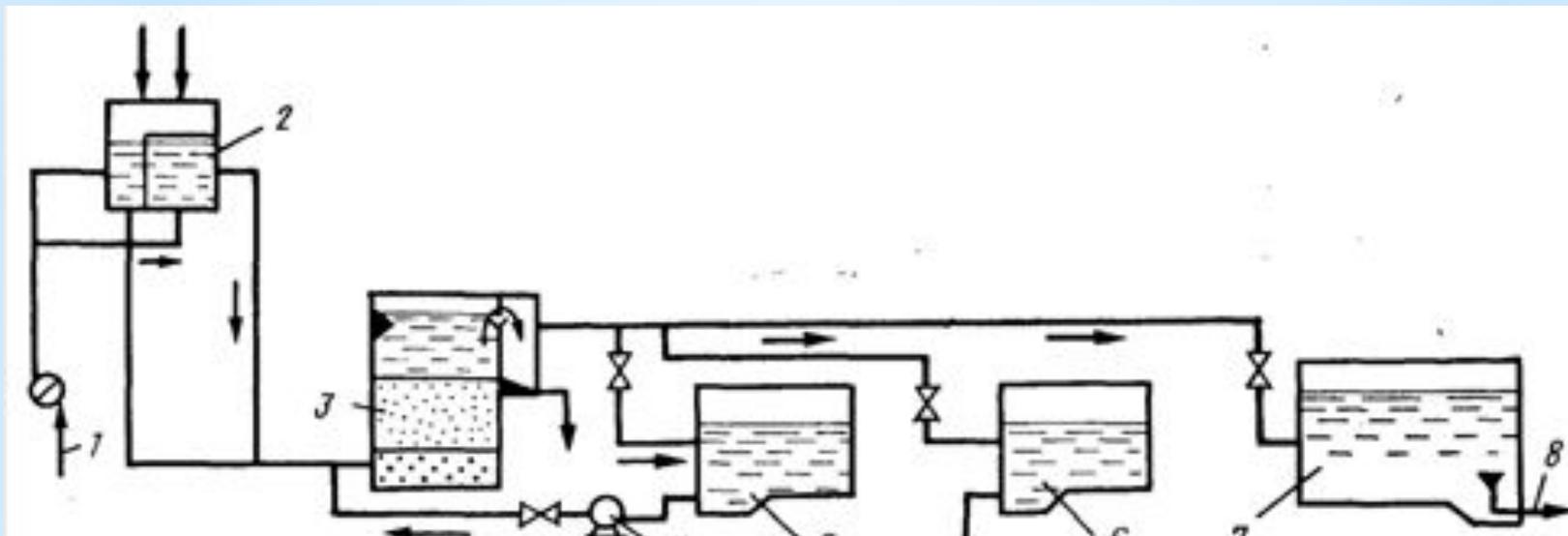
где  $\Phi_{\text{исх}}$  — содержание фтора в исходной воде, мг/л; (Mg) — количество магния, удаленного из воды при ее известковании, мг/л.



Технологическая схема дефторирования воды свежеобразованным гидроксидом магния (а) и солями алюминия (б)

1, 9 — подача исходной и отвод обесфторенной воды, 2 — ввод палочного реагента, 3 — смеситель, 4 — ввод солей магния, 5 — осветлитель со взвешенным осадком; 6 — фильтр; 7 — ввод хлора; 8 — резервуар чистой воды, 10 — подача кислоты; 11 — подача алюмосодержащего коагулянта; 12 — подача щелочного реагента

# Обесфторивание воды фильтрованием через модифицированную загрузку



- 1 — насос подачи исходной воды; 2 — промежуточная емкость; 3 — скорый фильтр или К.О.;  
5 — промывной насос, бак; 6 — бак регенерационного раствора; 7 — резервуар обесфторенной воды;  
8 — подача обесфторенной воды потребителю