



**ЖКХ
РАЗВИТИЕ**

**ЖКХ
РАЗВИТИЕ**

**СПРАВОЧНИК
НАИЛУЧШИХ ЭФФЕКТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ
(Базовые материалы)**

РАЗДЕЛ: Водозаборы. Сооружения водоподготовки

к.т.н. Д.А.Данилович

Москва, 2015 г.



СОДЕРЖАНИЕ

1	Классы поверхностных вод по определяющим природным ингредиентам	4
2	2. Водозаборные сооружения	5
2.1	Водозаборные сооружения из поверхностных источников	5
2.1.1	Береговые водозаборы	7
2.1.2	Русловые водозаборы	8
2.1.3	Основные элементы и оборудование водозаборных сооружений	8
2.1.4	Водоприемные гидротехнические сооружения на поверхностных водоисточниках	12
3	Безреагентная очистка поверхностных вод	14
3.1	Предварительная очистка	14
3.1.1	Очистка от грубых примесей	14
3.1.2	Отделение тяжелых минеральных взвесей и снижение мутности	15
3.1.3	Предварительная биологическая очистка	16
3.2	Безреагентная очистка с получением воды питьевого качества	17
4	Реагенты и реагентные хозяйства	19
4.1	Основные характеристики наиболее часто применяемых реагентов	19
4.2	Технологии, сооружения и оборудование для реагентных хозяйств	22
4.2.1	Склады и емкости для хранения	22
4.2.2	Оборудование для загрузки и дозирования сухих реагентов (дозаторы сыпучих материалов)	23
4.2.3	Оборудование для «мокрого» дозирования (дозаторы растворов)	24
4.2.4	Известковые хозяйства	26
4.2.5	Резервуары для хранения реагентов и их растворов	27
4.2.6	Комплектные станции растворения и дозирования реагентов	28
4.2.7	Электрокоагуляторы	29
5	Сооружения для реагентной очистки воды	32
5.1	Смесители	32
5.2	Камеры хлопьеобразования (КХО)	34
5.3	Сооружения для осветления воды (отделения твердой фазы)	35
5.3.1	Флотационное осветление	36
5.3.2	Гравитационное отстаивание	37
5.3.3	Отделение во взвешенном слое	39
5.3.4	Фильтрационное отделение	40
5.3.5	Контактное осветление	42
5.3.6	Мембранное отделение взвесей	43
6	Удаление антропогенных примесей	44
6.1	Очистка от фенолов	44
6.2	Очистка от пестицидов	44
6.3	Очистка от галогенорганических соединений	45
6.4	Очистка от СПАВ	46
6.5	Очистка от соединений тяжелых металлов и металлоидов	46
6.6	Очистка от диоксинов	47
6.7	Очистка от радиоактивных ионов	47
6.8	Очистка от соединений азота	48
7	Кондиционирование воды	49
7.1	Дегазация	49
7.1.1	Удаление сероводорода	49
7.1.2	Удаление метана	50

7.2	Стабилизационная обработка	51
7.3	Умягчение воды	52
7.4	Обезжелезивание воды	55
7.4.1	Окислительное обезжелезивание	56
7.4.2	Удаление железа коагулянтами	67
7.4.3	Удаление железа катионированием	68
7.5	Деманганация (удаление марганца)	70
7.6	Удаление кремния	74
7.7	Фторирование и обесфторивание воды	76
7.8	Обессоливание (опреснение)	79
7.8.1	Ионообменное опреснение	79
7.8.2	Электродиализ	80
7.8.3	Обратный осмос	81
8	Обеззараживание	86
8.1	Обеззараживание хлором и его соединениями	88
8.2	Обеззараживание УФ облучением	92
8.3	Обеззараживание озоном	94
8.4	Обеззараживание полимерными биоцидными реагентами	94
9	Комплексные и многофункциональные методы	96
9.1	Адсорбционная очистка	96
9.2	Озонирование	100
9.3	Комплексная физико-химическая обработка	105
9.4	Мембранная обработка	106
10	Обработка технологических сточных вод станций водоподготовки	109
10.1	Обработка промывных вод	109
10.2	Обработка осадка от сооружений водоподготовки	110

1. Классы поверхностных вод по определяющим природным ингредиентам ()

Класс вод	Наименование классов вод	Ориентировочные концентрации определяющих ингредиентов	Временной фактор присутствия ингредиентов в воде
A ₁	Цветные маломутные воды	Ц=20-200 град.ПКШ, М < 20 мг/л Т = 0-25 °С, рН = 6,8-9,0 ПО ≈ 6-10 мгО ₂ /л	t ₂
A ₂	Высокоцветные маломутные воды	Ц > 200-650 град.ПКШ, М = 5-50 мг/л, Т = 0-30 °С, рН = 6-8 ПО ≈ 8-25 мгО ₂ /л	t ₁
A ₃	Цветные маломутные воды с повышенной окисляемостью	Ц > 200-650 град.ПКШ, М = 5-50 мг/л, Т = 0-30 °С, рН = 6-8 ПО ≈ 8-25 мгО ₂ /л	t ₂
B ₁	Воды со средними значениями цветности и мутности	Ц = 25-150 град.ПКШ, М = 20-150 мг/л, Т = 0-30 °С, рН = 6-9 ПО ≈ 6-10 мгО ₂ /л	t ₂
B ₂	Маломутные воды со средними значениями цветности	B ₁ , кроме М М = 5-50 мг/л	t ₂
B ₃	Воды со средними значениями цветности и мутности, содержащие в большом количестве фитопланктон и зоопланктон	B ₁ , дополнительно Ф = 10 ³ -10 ⁶ кл/мл	t ₂
B ₄	Воды со средними значениями цветности и мутности и повышенной окисляемости	B ₁ , кроме ПО ПО = 10-25 мгО ₂ /л	t ₂
C ₁	Мутные, малоцветные воды	Ц < 20 град.ПКШ, М = 250-1000 мг/л, Т = 0-25 °С, рН = 7-9 ПО ≈ 5-8 мгО ₂ /л	t ₂
C ₂	Высокомутные воды с преобладанием минеральных загрязнений	М = 1000-5000 мг/л, Т = 0-35 °С, рН = 7-9 ПО ≈ 3-8 мгО ₂ /л	t ₁
C ₃	Высокомутные воды с повышенной окисляемостью	C ₂ , кроме ПО ПО = 8-18 мгО ₂ /л	t ₁
D ₁	Воды, содержащие в большом количестве фитопланктон и зоопланктон (дрейсена)	Ц < 200 град.ПКШ, М < 5-50 мг/л Ф = 103-106 кл/мл Т = 0-30 °С, рН = 6,5-9 ПО ≈ 5-8 мгО ₂ /л	t ₁
D ₂	Воды, содержащие в большом количестве фитопланктон и зоопланктон с повышенным содержанием органического вещества	D ₁ , кроме ПО ПО = 8-25 мгО ₂ /л	t ₁
E	Жесткие, минерализованные воды	С > 1000 мг/л, Ж _т > 7 мг-экв/л М ≤ 1000 мг/л, Ц ≤ 20-150 град.ПКШ	t ₂

Примечания: Условные обозначения: Ц - цветность, М - мутность, Т - температура, рН - водородный показатель, ПО - перманганатная окисляемость, С - общая минерализация, Ф - количество клеток фитопланктона, ЖО - жесткость общая. t₁ - период появления ~ до 3 месяцев в году; t₂ - постоянное присутствие в течение года.

Источник информации: М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений (в 3 томах). Издательство Ассоциации строительных вузов. Москва 2010

2. Водозаборные сооружения

2.1. Водозаборные сооружения из поверхностных источников

В состав водозаборных сооружений из поверхностных источников входят: гидротехническое водозаборное сооружение (если используется), собственно водоприемное сооружение, система трубопроводов и колодцев, узел процеживания (при необходимости), насосную станцию первого подъема. В определенных случаях водозаборное сооружение может быть тождественно водоприемнику.

Цели водозаборных сооружений из поверхностных источников:

- обеспечивать забор из водоисточника расчетного расхода воды и подачу его потребителю;
- защищать систему водоснабжения от биологических обрастаний и от попадания в нее наносов, сора, планктона, шугольда и др.;
- на водоемах рыбохозяйственного значения удовлетворять требованиям органов охраны рыбных запасов (защищать молодь рыбы от попадания в водоприёмник).

По производительности водозаборы подразделяют на малые – до 1 м³/с, средние – 1-5 м³/с и большие – более 5 м³/с.

По степени обеспеченности подачи воды водозаборы подразделены на три категории (по СП 31.13330.2012 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения").

Водозаборные сооружения подразделяются на три категории по надежности

Значения обеспеченности расчетных уровней воды в поверхностных источниках в зависимости от категории водозаборов

Категория водозаборов	Обеспеченность расчетных уровней воды в поверхностных источниках, %	
	максимальный	минимальный
I	1	97
II	3	95
III	5	90

Условия забора воды из поверхностных источников подразделяют на 4 категории.

Условия забора воды из поверхностных источников.

Характеристика условий забора воды	Условия забора воды из поверхностных источников		
	Мутность, устойчивость берегов и дна	Шуга и лед	Другие факторы
Легкие	Мутность ≤ 500 мг/л, устойчивое ложе водоема и водотока	Отсутствие внутриводного ледообразования. Ледостав умеренной (≤ 0,8 м) мощности устойчивый.	Отсутствие в водоисточнике дрейсен, баянуса, мидий и т.п., водорослей, малое количество загрязнений и сора
Средние	Мутность ≤ 1500 мг/л	Наличие внутриводного	Наличие сора,

	(средняя за паводок). Русло (побережье) и берега устойчивые с сезонными деформациями $\pm 0,3$ м. Вдольбереговое перемещение наносов не влияет на устойчивость подводного склона постоянной крутизны	ледообразования, прекращающегося с установлением ледостава обычно без шугозаполнения русла и образованием шугозажоров. Ледостав устойчивый мощностью $< 1,2$ м, формирующийся с полыньями	водорослей, дрейсены, балянуса, мидий и загрязнений в количествах, вызывающих помехи в работе водозабора. Лесосплав молевой и плотами. Судходство
Тяжелые	Мутность ≤ 5000 мг/л. Русло подвижное с переформированием берегов и дна, вызывающим изменение отметок дна до 1 – 2 м. Наличие переработки берега с вдольбереговым перемещением наносов по склону переменной крутизны	Неоднократно формирующийся ледяной покров с шугоходами и шугозаполнением русла при ледоставе до 60 – 70 % сечения водостока. В отдельные годы с образованием шугозажоров в предледоставный период и ледяных заторов весной. Участки нижнего бьефа ГЭС в зоне неустойчивого ледового покрова. Нагон шугольда на берега, торосов и шугозаполнением прибрежной зоны	То же, но в количествах, затрудняющих работу водозабора и сооружений водопровода
Очень тяжелые	Мутность > 5000 мг/л, русло неустойчивое, систематически и случайно изменяющее свою форму. Интенсивная и значительная переработка берега. Наличие или вероятность оползневых явлений	Формирование ледяного покрова только при шугозажорах, вызывающих подпор; транзит шуги под ледяным покровом в течении большей части зимы. Возможность наледей и перемерзания русла. Ледоход с заторами и с большими навалами льда на берега. Тяжелые шуголедовые условия при наличии приливов	
Примечание – Общая характеристика условий забора воды определяется по наиболее тяжелому виду затруднений			

Водоприемные устройства следует принимать в зависимости от требуемой категории и сложности природных условий забора воды.

Водозаборные сооружения из поверхностных источников характеризуются чрезвычайно большим разнообразием, соответствующим разнообразием природных условий забора воды. В настоящем разделе классифицирована и описана только часть их конструкций. Данный раздел предполагается развивать по мере сбора информации о фактическом применении

Сравнение основных типов водозаборов

Основные типы водозаборов	Краткая характеристика	Условия применения
2.1.1. Береговой	Водоприемник расположен на берегу	При высоком крутом берегу реки, наличии больших глубин у берега, высоких требованиях к надежности забора и подачи воды и при значительных колебаниях уровней воды
2.1.2. Русловой	Водоприемник расположен в русле	При пологих берегах, небольшой амплитуде колебаний уровней воды в источнике (до 6 м), незначительных глубинах вблизи берега, малой производительности (до 2 м ³ /с), широкой затопляемой пойме,

2.1.1. Береговые водозаборы

Водозабор (так называемый береговой колодец, далее БК) может быть расположен непосредственно у берега (при колебании уровней до 10 м), выдвинут в русло и соединён с берегом дамбой (при колебании уровней более 10 м) или вдвинут в берег и соединён с рекой каналом или ковшом (при незначительных глубинах реки и тяжёлых шуголедовых условиях).

Береговые водозаборы могут быть выполнены:

- совмещенными с НС первого подъема,
- с примыкающей НС,
- отдельными с НС

Сравнение типов береговых водозаборов

Основные типы береговых водозаборов	Краткая характеристика	Условия применения	Преимущества/недостатки
2.1.1.1. Совмещенные с насосными станциями первого подъема	Насосы 1-го подъема расположены непосредственно в емкости БК. При большой глубине БК насосная станция оборудуется вертикальными насосами или насосами для забора воды из скважин	- при прочных грунтах дна, при сложении берега из скальных пород (скала, известняк и т.п.). - при большой амплитуде колебания уровней воды в реке (разности минимальной и максимальной отметок воды) - более 6 м; - при большой производительности водоприемника	Упрощается обслуживание водозабора, повышает надёжность его работы, и является практически необходимым в случае применения насосов с малой высотой всасывания и при значительной амплитуде колебаний уровней воды в реке. Риск затопления насосной станции
2.1.1.2. С НС, примыкающей к водозабору	НС примыкает к БК	- при незначительных колебаниях уровней воды в реке; - при использовании насосов с допустимой высотой всасывания не более 3-4 м или при необходимости	

		установки насосов под залив; - при небольшой глубине берегового колодца	
2.1.1.3. Раздельные		- при сложении берега из рыхлых или неоднородных грунтов; - при использовании насосов с допустимой высотой всасывания более 3-4 м; - при производительности до 1 м ³ /с	Позволяет защитить насосную станцию от затопления, уменьшает габариты БК. Однако насосы устанавливаются оказываются не под заливом, усложняется эксплуатация. Удлиняются всасывающие линии и растут потери напора в них

2.1.2. Русловые водозаборы

Сравнение типов русловых водозаборов

Тип руслового водозабора	Условия применения
2.1.2.1. НС разделена с БК	При незначительной амплитуде колебаний уровней воды в реке (до 6-8 м); При использовании насосов с допустимой высотой всасывания более 3-4 м; При производительности до 1 м ³ /с
2.1.2.1.1. С самотечными водоводами	При слабой несущей способности береговых грунтов (супесь, суглинок, песок)
2.1.2.1.2. С сифонными водоводами	При сложении берега из скальных и полускальных пород
2.1.2.3. НС примыкает к БК	При сложении берега из скальных и полускальных пород
2.1.2.4. С незатопляемым водоприёмником (забор воды осуществляется с нескольких горизонтов) и с самотечными линиями	Для водоснабжения крупных и ответственных потребителей
2.1.2.5. НС совмещена с БК, насосы вертикальные или артезианские	При большой глубине берегового колодца; При значительной амплитуде колебаний уровней воды в реке (6-14м). Если берег и дно реки сложено нескальными породами; При производительности до 1 м ³ /с

2.1.3 Основные элементы и оборудование водозаборных сооружений

К основным элементам водозаборных сооружений относятся:

- водоприемные оголовки,
- защитные устройства,
- насосные станции (см. раздел Водопроводные сети и сооружения на сетях).

2.1.3.1. Водоприемные оголовки

Эти сооружения, непосредственно забирающие воду из водного объекта, подразделяются на:

- постоянно затопленные,
- затопляемые высокими водами,
- незатопляемые.

Наиболее часто применяют постоянно затопленные оголовки

Разновидности постоянно затопленных оголовков

Типы оголовков	Область применения	Преимущества	Недостатки
2.1.3.1.1 Раструбный свайный незащищенный оголовок	На небольших реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями при малой (от 0,02 до 0,2 м ³ /с) производительности водозабора	Простой, компактный, экономичный	Вносит возмущения в поток, труднодоступный, боится ударов, требует установки рыбозаградителей
2.1.3.1.2. Стальной незащищенный оголовок	На реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями, при небольшой (до 0,4 м ³ /с) производительности водозабора	Сборные, простые, недорогие, быстросменяемые	Вносят значительные возмущения в поток, труднодоступные, требуют устройства рыбозаградителей
2.1.3.1.3. Деревянный ряжевый оголовок	На реках с небольшими глубинами, средними природными условиями при небольшой (до 1 м ³ /с) производительности водозабора.	Простой, недорогой	Трудоемкий в изготовлении, неиндустриальный, труднодоступный для осмотра и замены сороудерживающих решеток, требуют устройства рыбозаградителей
2.1.3.1.4. Фильтрующий Деревянный ряжевый оголовок	Устроен с фильтрующей засыпкой из гравия или щебня в полости сруба. Такой оголовок частично осветляет воду и обеспечивает рыбозащиту. Применим на небольших реках с тяжелыми шуголедовыми условиями при небольшой (до 1 м ³ /с) производительности водозабора	Простой, недорогой, не требует устройств рыбозаградителей	Трудоемкий в изготовлении, неиндустриальный, труднодоступный, подвержен засорению и заилению
2.1.3.1.5. Железобетонные оголовки Разработано большое количество конструкций железобетонных оголовков	Устраивается в виде железобетонной скорлупы на берегу, оснащается раструбами, транспортируется в русло, затопляется в проектное место и утяжеляется каменной наброской	Надежно защищает концы самотечных или сифонных водоводов, позволяет забирать воду с небольшими входными скоростями, может выполняться индустриальным способом	Недостатки: громоздкий и тяжелый в монтаже, требует установки рыбозаградителей

2.1.3.1.6. Вихревой оголовки	Выполняют из металла или железобетона. Содержит вихревую камеру с продольной щелью постоянной высоты и переменные площади поперечных сечений по длине, увеличивающиеся в направлении течения	Формирует совершенные гидравлические условия входа воды. Отбор воды происходит при очень низких скоростях, обеспечивающих защиту от шуги и рыбозащиту	
2.1.3.1.7. Фильтрующие оголовки	Водоприемное отверстие защищено слоем фильтрующей загрузки	Надежны в тяжелых условиях, не требуют устройства рыбозащиты	Требуют периодической промывки и замены фильтрующего материала
2.1.3.1.8. Донный комбинированный водоприемник Разработано множество конструкций различных оголовков	Дырчатые трубы в щебеночной обсыпке. На реках с небольшой глубиной и большим количеством донных и взвешенных насосов	Надежный в работе в сложных условиях	Сложный в монтаже и эксплуатации
2.1.3.1.9. Водозаборно-очистные сооружения стационарного и плавающего типа	Фильтрующие оголовки, снабженные системой промывки фильтрующей загрузки	Надежны при колебаниях мутности, мало подвержены воздействию шуги, обеспечивают рыбозащиту	Трудность замены фильтрующего материала
2.1.3.1.10. Сетки водозаборные заглубленные	Располагаются непосредственно в водном объекте. промывка производится подачей воздуха	Не требуют обслуживания. Обеспечивают полную рыбозащиту. Выполнены из сплава, минимизирующего обрастания моллюсками	

2.1.3.2. Рыбозащитные сооружения

2.1.3.2.1. Рыбозаградительные сооружения

Экраны, непроницаемые для рыб: сетки, фильтрующая засыпка и др.

Экраны, проницаемые для рыб (отпугивающие): воздушно-пузырьковые завесы, электрические, акустические, световые заградители

2.1.3.2.2. Рыбоотгораживающие сооружения

Устройства, отгораживающие зону обитания молоди рыб, от места водозабора. Применение сложно, т.к. требует использования информации о расположении рыб в водном объекте, в том числе по вертикали и по сезонам.

2.1.3.2.3. Рыбоотводящие сооружения

Принцип работы основан на создании течений, отводящих молодь рыб в рыбоотводящий тракт

2.1.3.3. Защитные устройства на водозаборах

Поверхностные источники водоснабжения особенно в период паводков содержат большое количество загрязнений (стволы и ветки деревьев и кустарников, щепки, пластиковые бутылки, мелкий мусор, остатки растений, водоросли и т.п.)

Для грубой предварительной механической очистки воды от крупного мусора водоприёмные отверстия оборудуют решётками. Для удаления из воды мелкого мусора на водозаборных сооружениях устанавливают сетки.

Типы защитных устройств на водозаборах

Типы защитных сооружений	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
2.1.3.3.1. Сороудерживающие решетки			Значительная ширина прозоров
2.1.3.3.1.1. Съёмные решетки обычные	Стержневая рама	Простейшая конструкция	Забивание, обмерзание, ручной труд.
2.1.3.3.1.2. Съёмные решетки с электрообогревом	Рама из трубок или гнутых профилей, внутри которых пропущен нагревающий токнесущий кабель	Предотвращается обмерзание	
2.1.3.3.1.3. Съёмные решетки с обогревом паром или горячей водой	Трубчатая конструкция	Предотвращается обмерзание. Нет расхода электроэнергии	Применимы только при наличии потока отработанной горячей (теплой) воды
2.1.3.3.1.4. Стационарные или съёмные решетки, оборудованные грейферной системой удаления крупных предметов	Перед фронтом стержневой решетки может перемещаться с помощью электромеханизма вильчатый грейферный ковш, которым можно захватывать и удалять крупные предметы	Решает важную проблему удаления крупных предметов	
2.1.3.3.2. Сетки съёмные плоские	Рама с натянутой сеткой. Применяется после решеток. Очистка плоских сеток производится вручную. Для этого сетку поднимают по пазам в верхнюю часть водозаборного сооружения подъёмным механизмом, устанавливают в специальный поддон и промывают струями воды	Более эффективное удержание мусора	Необходимость ручного труда
2.1.3.3.3. Сетки вращающиеся	Бесконечная шарнирно-звеньевая сетка вращается на двух барабанах. один из которых ведущий. Размеры ячеек 2x2 мм. /При вращении сетка подвергается промывке. может применяться также водовоздушная промывка и вибрационное воздействие	Наиболее эффективное и производительное оборудование. Может извлекать шугу и лед. Не требует ручного труда	Наиболее дорогостоящее оборудование
2.1.3.3.4. Барабанные сетки	Секции сеток закреплены на барабане с ломаной поверхностью. Работа и очистка производятся при вращении	Компактная конструкция	

2.1.3.3.5. Мультидисковые решетки	Сетка закреплена на дисках, совокупность которых, закрепленная на каркасе вращается, погружаясь в воду и выходя из нее для промывки		
2.1.3.3.6. Механические решетки	Стрежневые или перфорированные конструкции, аналогичные используемым на очистных сооружениях водоотведения	Совмещают возможности удаления крупных предметов и более мелкого мусора	

2.1.4. Водоприемные гидротехнические сооружения на поверхностных водоисточниках

При необходимости отбора из рек больших количеств воды в определенных условиях экономически целесообразно и эффективно устройство водоприемных ковшей (искусственно сделанный залив, образованный дамбой, вынесенной в русло реки, или специально открытой выемкой). При использовании ковшей вода забирается из них водоприемными сооружениями (как правило, берегового типа), располагаемыми в конце ковшей.

Применение ковшей эффективно:

- на шугоносных реках (обеспечивают отделение шуги),
- на высокомутных реках, для предварительного осветления,
- на мелких реках - для увеличения глубины у места забора воды и для улучшения условий подвода воды из русла реки к водоприемнику.

Ковши могут быть построены двумя способами: или выемкой грунта на берегу, или намывом (отсыпкой) дамбы, отделяющей акваторию ковша от реки

Типы водоприемных ковшей

Тип ковша	Область применения
2.1.4.1. Не затапливаемый с низовым входом, частично или полностью выдвинутый в реку	<p>На шугозажорных реках с постепенно нарастающими значительными подъемами уровней перед или в период ледостава;</p> <p>На реках с тяжёлым весенним ледоходом при относительно небольших подъёмах уровней воды в русле;</p> <p>При отсутствии сбросов промышленных стоков ниже места водозабора на участке берега не менее 10-кратной величины выноса внешней грани ковша в русло.</p>
2.1.4.2. Не затапливаемый с низовым входом, частично или полностью выдвинутый в реку, с затапливаемой в половодье верховой шпорой	На реках без шугозажорных режимов или особо тяжёлых условий весеннего ледохода, если количество наносов, транспортируемых рекой в половодье, не превышает 0,75 кг/м ³
2.1.4.3. Не затапливаемый с низовым входом, частично или полностью выдвинутый в реку, с затапливаемой в	На реках без шугозажорных режимов или особо тяжёлых условий весеннего ледохода, если количество наносов, транспортируемых рекой

половодье верховой и низовой шпорами	в половодье, не превышает 0,75 кг/м ³ . При необходимости сбросов промышленных стоков ниже места водозабора на участке берега не менее 10-кратной величины выноса внешней грани ковша в русло
2.1.4.4. Затапливаемый с низовым входом, частично или полностью выдвинутым в русло реки	На реках не допускающих стеснение русла реки в период паводков и половодий, при недостаточных глубинах у берега и возможности формирования береговых шугозажоров, а также при отсутствии специальных требований к предварительному осветлению воды
2.1.4.5. Заглубленный в берег с углом отвода 135 о	На реках с ограниченной интенсивностью шуголедовых явлений, русла которых изогнуты или сложены слабыми мелкозернистыми грунтами
2.1.4.6. Частично выдвинутый в русло, частично заглубленный в берег с самопромывающимся входом	При необходимости поддержания у входа в ковш или подходе к нему глубин, превышающих бытовые, особенно в случаях неглубокого залегания кровли коренных пород
2.1.4.7. С низовым входом и регуляторами	На сильно шугоносных реках, транспортирующих в паводки большое количество взвешенных наносов

Врезанные в берег ковши не стесняют речной поток, но они дороже и нежелательны при скальных и прочных грунтах берега.

Ковши, вынесенные в русло, дешевле и проще в строительстве (дамбы обычно намываются земснарядами), но стесняют поток и требуют крепления внешней стороны дамбы от размыва. Их целесообразно применять при русле из легких пород.

3. Безреагентная очистка поверхностных вод

Поскольку основная стадия очистки поверхностных вод до настоящего времени сопряжена с применением реагентов-коагулянтов, то эти предварительные стадии также именуется безреагентной очисткой. Однако, говоря о безреагентной очистке, важно отличать:

- предварительную очистку (до применения реагентов),
- основную очистку без применения реагентов

3.1. Предварительная очистка

Цели:

- удаление грубых примесей (песка, ила, листьев, прутьев, щепы, коры деревьев и кустарников, фито- и зоопланктона и др.);
- очистка природных вод от высоких концентраций минеральных взвесей с плотностью больше плотности воды,
- очистка от высоких концентраций органических загрязнений и соединений азота (при существенном загрязнении недостаточно загрязненными сточными водами).

3.1.1. Очистка от грубых примесей

Реализуется с помощью грубых фильтров (сетчатых или щелевых). Минимальный размер ячейки составляет около 75 мкм (менее 0,1 мм)

Основные конструкции грубых фильтров

Тип	Принцип работы	Преимущества	Недостатки
3.1.1.1. Самоочищающиеся сетчатые фильтры для защиты насосов	Расположенная в водоисточнике закрытая сетчатая корзина, внутри которой установлены спрыски для промывки, от напорного трубопровода подачи забираемой воды	Не требуется помещение в здании, нет проблем с промывной водой	Крупные ячейки. Ограничения по применению
3.1.1.2. Микрофильтры (барабанные сетки)	Процеживание осуществляется через вращающуюся цилиндрическую сетку, изнутри наружу. Задержанные включения смываются промывной водой и отводятся	Традиционное оборудование	Громоздкое оборудование. Работает в безнапорном режиме с невысокой скоростью, многослойная сетка достаточно быстро забивается, имеет повышенное гидравлическое сопротивление, легко подвержена деформациям при перепадах давления: при противотоках многослойных сетки склонны к отслаиванию и сминанию внутренних слоев
3.1.1.3. Напорные сетчатые фильтры	Вода проходит через ячейистые сетки,	Компактные напорные полностью	Оборудование для небольших объектов.

	расположенные в напорном корпусе	автоматизированные устройства	Сетчатый фильтрующий элемент ограничивает рабочее давление
3.1.1.4. Напорные щелевые фильтры	Полотнище фильтра выполнено из щелевых полотен, или из наборных зажимаемых элементов со щелевыми зазорами (дисковые фильтры). Конструкция во многих случаях обеспечивает самопромывку или самоочистку	Более высокая производительность и надежность	Оборудование для небольших и средних объектов

3.1.2. Отделение тяжелых минеральных взвесей и снижение мутности

Технологии и оборудование для отделения тяжелых минеральных взвесей и снижения мутности

Тип	Принцип работы	Преимущества	Недостатки
3.1.2.1. Гидроциклоны			
3.1.2.1.1. Напорные гидроциклонные установки	Отделение взвесей в центробежном поле в напорных условиях	Высокая производительность, отработанное оборудование, в современном исполнении хорошо отработано их агрегирование в батарее, защита от износа и коррозии. Обеспечивают удаление взвесей на 30-60%	Принципиальные ограничения диаметра гидроциклонов требует использования батарей. Металлоемкость
3.1.2.1.2. Вакуум-гидроциклонные установки	Напорные гидроциклоны, отвод жидкости и осадка из которых осуществляется под разрежением, создаваемым эжекционным насосом	Более высокая эффективность разделения фаз	Более сложная конструкция
3.1.2.1.3. Безнапорные гидроциклоны	Отделение взвесей в центробежном поле в безнапорных условиях (открытая емкость с тангенциальной подачей)	Удельная металлоемкость гораздо ниже	Эффективность ниже, чем у напорных систем
3.1.2.2. Первичное осветление на водоисточнике			
3.1.2.2.1. Водоприемные ковши-отстойники	В ковше создаются условия для оседания тяжелых взвесей. Образующиеся отложения удаляются с помощью гидромеханизацию, либо промываются паводковыми расходами	Простая конструкция, земляное сооружения	Применимо при определенных гидрологических условиях и наличии территории
3.1.2.2.2. Прибрежные (наливные) водохранилища	Емкости, создаваемые рядом с рекой, куда осуществляется подача воды из реки, кроме тех периодов, когда она высоко загрязнена. Время пребывания от одной недели до 20-30 недель	Многофункциональное сооружение. Обеспечивается стабильное водоснабжение при низких уровнях в реке, ухудшении качества. Эффективное снижение	Необходимы очень большие площади. Большой объем земляных работ

		загрязненности, в том числе антропогенных загрязнений	
3.1.2.2.3. Осветление высокомутных вод с использованием плавучего водозабора-осветлителя	Осветлитель с тонкослойными модулями расположен на плавучем модуле, отделенный осадок отводится в реку и уносится потоком	Компактное надежное устройство, не зависит от уровня воды. Выполняет рыбозащитную функцию. Значительное сокращение мощности реагентного хозяйства на сооружениях водоподготовки. Не требуется отвод земли	Применим только на высокомутных реках
3.1.2.3. Фильтрующие водоприемники			
3.1.2.3.1. Инфильтрационно-фильтрующие береговые (подрусловые) водоприемники	Вода отводится через дренажи, расположенные в гравийной обсыпке. Может использоваться геотекстиль. Используются с регенерацией (снятие слоя, замена загрузки), либо с обратной промывкой (водой, воздухом). При наличии достаточных напоров при использовании водозаборных колодцев, скважин, галерей могут весь жизненный цикл работать без промывки и регенерации	Позволяют забирать воду без частиц наносов, фитопланктона Применимы при высоких расходах (до 3 м ³ /с). Простые сооружения	Малоконтролируемый процесс коагуляции. Проблемы эксплуатации в зимний период
3.1.2.3.2. Фильтрующие водоприемники с легкими гранулированными обсыпками (как предпочтительнее при наличии береговой водоподготовки)	Забор воды осуществляется путем ее фильтрации перед насосом через легкую загрузку из пенополистирола толщиной не менее 0,5 м. Оборудованы системой эжекционной промывки.	Позволяет задерживать загрязнения непосредственно в водном объекте Высокая скорость фильтрации (до 100 м/ч)	

3.1.3. Предварительная биологическая очистка

Все перечисленные методы предварительной очистки являются вариантами применения методов, используемых в водоотведении для глубокой очистки сточных вод

Технологии предварительной биологической очистки

Технология	Принцип работы	Преимущества	Недостатки
3.1.3.1. Аэрация воды в наливных водохранилищах и других водоемах, откуда осуществляется водозабор	Интенсификация самоочищения воды развивающимся в ней планктоном в емкостях-накопителях (аналог биопрудов)	Естественный процесс, реализуемый с минимумом оборудования	Интенсивность самоочищения падает со снижением температуры
3.1.3.2. Очистка с помощью высшей водной растительности	Проходя через водоемы с высаженными в них растениями (рогоз, тростник и т.п.), вода очищается не только планктоном, но и корневищами растений, а также живущей на них микрофлорой	Менее температурно зависимый процесс, более надежный, чем биопруды. При очистке в биоплато (искусственные болота) процесс идет эффективно даже зимой	Трудоемкий процесс высаживания корневищных растений и эксплуатации биоплато
3.1.3.3. Биологическая очистка в биореакторах	Применимы все типы биореакторов, описанные в	Недорогой безреагентный способ удаления	На холодной воде тормозится вплоть до

с прикрепленной микрофлорой	разделе 4.2. в Справочнике по очистным сооружениям водоотведения. Биореакторы могут быть как в виде иммобилизационных вставок в каналы, так и в виде многосекционных специальных инженерных сооружений с дозированием реагента (уксусной кислоты) обеспечивающих удаление азота методом нитри-денитрификации. Неподвижная загрузка нуждается в периодической промывке, подвижная работает непрерывно	органических загрязнений. Значительно дешевле ионообменных процессов обеспечивает удаления азота при его концентрациях, свыше 1 мг/л	полной остановки. Требуется ответственной эксплуатации: прекращение аэрации биореактора приведет к гибели микрофлоры, недостаточная концентрация растворенного кислорода - к торможению процесса нитрификации
-----------------------------	--	--	---

3.2. Безреагентная очистка с получением воды питьевого качества

Эти дешевые при создании и эксплуатации методы ориентированы на водоподготовку для небольших сельских поселений с расходом до 1000 м³/сутки. В качестве сооружений предварительной очистки перед ними (только для береговых сооружений) могут использоваться гидроциклоны, отстойники, префильтры для снижения мутности.

Технологии безреагентной очистки с получением воды питьевого качества

Технология	Принцип работы	Преимущества	Недостатки
3.2.1. Медленные фильтры	При медленном (0,1-0,3 м/ч) фильтровании через мелкозернистый песок практически все взвешенные и коллоидные частицы и даже бактерии задерживаются в приповерхностном слое толщиной 2-3 см, во многом работающем как биофильтр. Исторически первое сооружение водоподготовки. Вначале регенерация производилась удалением приповерхностного слоя. В последующих автоматизированных конструкциях производится гидравлическое разрыхление верхнего слоя и смыв загрязнений. Периодически производится догрузка песка (промытого или нового)	При мутности (M < 700-1000 мг/л, и низкой цветности (Ц < 50 град) позволяет получить воду питьевого качества	Низкая нагрузка позволяет применять только на сооружения небольшой производительности, как правило, в сельской местности на юге России. Неприменим при высокой цветности
3.2.2. Скорые безнапорные, либо напорные фильтры	Вода фильтруется через специальные зернистые загрузки, обладающие свойством прочно удерживать тонкодисперсные частицы загрязнений силами адгезии (дробленый керамзит, горелые породы).	Компактные сооружения по сравнению с медленными фильтрами	Применимы только на малоцветных водах (Ц < 40 град)
3.2.3. Намывные	Вода фильтруется через тонкие	Очень компактное	Применимы при низкой

<p>фильтры</p>	<p>намывные слои фильтрующих материалов, формируемых на поверхности патронных или сетчатых фильтроэлементов (отверстия менее 150 мкм) перед каждым фильтроциклом. Для формирования слоя вводят порошок (диатомит, целлюлоза, бентонит) в количестве до 600 г/м² фильтрующей поверхности. Порошок может пополняться в ходе фильтроцикла в дозе 3-10 мг/л. По окончании фильтроцикла порошок удаляется вместе с загрязнениями обратной промывкой</p>	<p>сооружение</p>	<p>мутности (М < 50 мг/л) и цветности (Ц < 30 град). Сооружение требует либо постоянной эксплуатации персоналом, либо высокой степени автоматизации</p>
<p>3.2.4. Фильтрующие водоприемники с легкими гранулированными обсыпками (как основной процесс очистки)</p>	<p>Забор воды осуществляется путем ее фильтрации перед насосом через легкую загрузку из пенополистирола толщиной не менее 0,5 м. Скорость фильтрации 1-5 м/ч. Снабжены системой эжекционной промывки.</p>	<p>Позволяет задерживать загрязнения непосредственно в водном объекте и отказаться от береговых сооружений водоподготовки</p>	

4. Реагенты и реагентные хозяйства

4.1. Основные характеристики наиболее часто применяемых реагентов

Реагенты	Химическая формула основного вещества	ГОСТы и нормативные документы	Насыпная масса, т/м ³	Назначение при обработке воды
Алюминий сернокислый технический очищенный (сульфат алюминия, гидрат)	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	ГОСТ 12966-85	1,1...1,4	Коагуляция примесей воды при осветлении и обесцвечивании воды
Оксихлорид алюминия ("Аурат")	$[Al_2(OH)_5Cl] \cdot 6H_2O$	-	1,1	То же
Хлорное железо (хлорид железа (III))	$FeCl_3$	-	1,5	То же, особенно целесообразно при низких температурах вод
Сернокислое окисное железо (сульфат железа (III), гидрат)	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	ВТУУХКП 52-80	0,96	То же
Железный купорос технический (сульфат железа (II), гидрат)	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	-	1,15	То же, применяется при известковом и известково-содовом умягчении воды
Стекло натриево-жидкое (метасиликат натрия технический)	Na_2SiO_3	ГОСТ 13078-81* ГОСТ 13079-81	1,43...1,55	После активации в качестве флокулянта
Полиакриламид технический	Сополимер амида и солей акриловой кислоты	СТУ 120221-84 ВТУ 70401-86	-	Флокуляция для интенсификации хлопьеобразования
Хлор жидкий	Cl_2	ГОСТ 6718-88*	1,41	Хлорирование воды для обеззараживания и интенсификации процессов ее осветления и обесцвечивания
Хлорная известь	$CaOCl_2$	ГОСТ 1692-85*	1,2	Хлорирование воды для обеззараживания и интенсификации процессов ее осветления и обесцвечивания
Гипохлорит натрия	$NaClO$	ГОСТ 11086-86*	Раствор	То же
Тиосульфат натрия (тиосульфат натрия, гидрат)	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	ГОСТ 11086-86*	1,0	Дехлорирование воды

Сернистый ангидрид жидкий технический (оксид серы (IV))	SO ₂	ГОСТ 2918-89*	1,38	То же
Сульфит натрия (сульфит натрия, гидрат)	Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	ГОСТ 903-86*	1,5	То же
Уголь активный марки: ОУ, сухой БАУ (древесный) КАД йодный рекуперационный	-	ГОСТ 4453-84* ГОСТ 6217-84* МРТУ 601611-83 ГОСТ 8703-84*	0,22 0,22 0,22	То же, устранение привкусов и запахов, придаваемых воде органическими веществами То же
Марганцовокислый калий технический (перманганат калия)	KMnO ₄	-	1,36	Устранение привкусов и запахов воды
Медный купорос (сульфат меди)	CuSO ₄ ·5H ₂ O	ГОСТ 19347-84E	1,18	Устранение цветения воды в водоемах, биологического обрастания и развития водорослей
Аммиак жидкий синтетический	NH ₃	ГОСТ 6221-82*E	0,61	Аммонизация воды
Аммиак водный	NH ₃ +NH ₄ OH	ГОСТ 3760-89*	0,91	То же
Сульфат аммония	(NH ₄) ₂ SO ₄	ГОСТ 10873- 83*	1,03	То же
Аммоний хлористый (аммоний хлорид)	NH ₄ Cl	ГОСТ 3769-89* ГОСТ 2210- 83*E	0,48	Аммоний-натрий-катионирование
Известь строительная, воздушная кальцинированная (оксид кальция)	CaO	ГОСТ 9179-87	1,0	Подщелачивание воды, устранение карбонатной и магниальной жесткости воды
Едкий натр технический (гидроксид натрия)	NaOH			Подщелачивание воды
Сода кальцинированная техническая (карбонат натрия)	Na ₂ CO ₃	ГОСТ 2263-89* ГОСТ 5100-85E ГОСТ 10689- 85*	1,5 0,9...1,2	Регенерация анионитовых фильтров Подщелачивание воды Устранение некарбонатной жесткости
Кислота серная техническая	H ₂ SO ₄	ГОСТ 2184-87*	1,84	Стабилизационная обработка воды

Кислота соляная техническая	HCl	ГОСТ 857-88* ТУ 601-1194-89	1,2	Регенерация H- катионитовых фильтров То же
Тринатрий фосфат технический (ортофосфат натрия, гидрат)	Na ₃ PO ₄ × 12H ₂ O	ГОСТ 201-86*E	0,80	Стабилизационная обработка воды. Доумягчение воды перед котельными установками
Гексаметафосфат натрия технический	(NaPO ₃) ₆	МРТУ 6085-84	1,26	Стабилизационная обработка воды
Натрий кремнефтористый технический (кремнефторид натрия)	Na ₂ SiF ₆	ТУ 14/0769-84	1,5	Предотвращение выпадения осадка гидроксида железа Фторирование воды
Натрий фтористый технический (фторид натрия)	NaF	-	0,95... 1,0	То же
Аммоний кремнефтористый технический (кремнефторид аммония)	Na ₂ SiF ₆	ОСТ 608-2-85	1,0	То же
Аммоний фтористый (фторид аммония)	NH ₄ F	ЦМРТУ 3437-83	1,0	То же
Оксид алюминия активный	Al ₂ O ₃	ГОСТ 8136-85	0,4...0,75	Обесфторивание воды

Примечания:

1. Для жидких веществ плотность приводится в т/м³.

2. Насыпная масса сухого (в числителе) и набухшего (в знаменателе) вещества

Источник информации: М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений (в 3 томах). Издательство Ассоциации строительных вузов. Москва 2010

4.2. Технологии, сооружения и оборудование для реагентных хозяйств

Применение реагентов лежит в основе большинства технологий водоподготовки, как на поверхностной, так и на подземной воде. Существуют следующие основные способы применения реагентов:

- использование товарных реагентов (с необходимым растворением и/или разбавлением),
- приготовление необходимых реагентов на станции водоподготовки путем проведения необходимых химических реакций с использованием других реагентов,
- получение реагентов непосредственно в сооружениях водоподготовки. Это может быть реализовано двумя методами:
 - химическими реакциями между введенными реагентами, либо между реагентами и фильтрующими загрузкими,
 - путем электрохимических процессов: получение растворов трехвалентных катионов, получение кислых и щелочных растворов.

Реагенты могут производиться как в виде отдельных химических веществ, так и в виде композиционных реагентов. К последним прежде всего относятся бинарные композиции коагулянта и флокулянта.

Важную роль в реагентной обработке играет реагентное хозяйство, т.е. сооружения, обеспечивающие, хранение, подачу и дозирование реагентов в обрабатываемую воду.

Основные сооружения для реагентной обработки воды

4.2.1. Склады и емкости для хранения	4.2.2. Оборудование для загрузки и дозирования сухих реагентов	4.2.3. Оборудование для «мокрого» дозирования
4.2.4. Известковое хозяйство	4.2.5. Резервуары для хранения реагентов и их растворов	4.2.6. Комплектные станции растворения и дозирования
4.2.7. Электрокоагуляторы		

4.2.1. Склады и емкости для хранения

Сооружение, оборудование	Краткая характеристика	Применимость
4.2.1.1. Склады сухого хранения реагентов	Неотапливаемые помещения для размещения реагентов навалом или в упаковке (биг-бэги, мешки)	Для сухих реагентов
4.2.1.2. Склады мокрого хранения коагулянта	Способ хранения сухого коагулянта, по которому он после доставки растворяется и хранится в виде концентрированного раствора, как правило, в защищенных бетонных емкостях	Для сухих реагентов
4.2.1.3. Емкости для хранения жидких	Антикоррозийные баки-хранилища большого объема	Для жидких реагентов

реагентов		
-----------	--	--

Мокрое хранение является более удобным методом, т.к. предотвращает потери коагулянта в результате слеживания, а также при выполнении трудоемких погрузочно-разгрузочных работ при доставке коагулянта и загрузке растворных баков

4.2.2. Оборудование для загрузки и дозирования сухих реагентов (дозаторы сыпучих материалов)

4.2.2.1. Оборудование для загрузки сухих реагентов

Удобная эффективная перегрузка реагентов из транспортных емкостей в складские и расходные емкости имеет большое значение при создании реагентных хозяйств.

Оборудование для загрузки сухих реагентов

Тип оборудования	Краткая характеристика	Применимость
4.2.1.1.1. Вакуумные перегрузчики	Вакуумная установка создает разрежение в месте транспортировки, в результате чего по гибкому трубопроводу, погруженному на дно разгружаемой емкости, всасывается сыпучий реагент. Система включает в себя тщательную очистку воздуха, подаваемого на вакуум-насос. Герметизация системы и исключение запыленности помещения Отсутствует потеря транспортируемого вещества	Оптимальны для сыпучих порошков и гранул. Неприменимы к слеживающимся гидратируемым и кусковым реагентам. Возможность размещения транспортной трассы по желаемой схеме. Безопасность транспортировки в помещениях, относящихся к категории пожаро- и взрывоопасных
4.2.1.1.2. Загрузочные столы	Устройство для подъема мешка с реагентами в растворный бак	В помещениях, не оборудованных грузоподъемными механизмами

4.2.2.2. Оборудование для дозирования сухих реагентов

Точность и равномерность дозирования реагента для его разбавления (либо прямого введения в воду) зависит от влажности, плотности, гранулометрического состава материала, конструктивных параметров дозатора и режима его работы. По принципу действия дозаторы разделяются на объемные и весовые; по способу работы — порционные и непрерывного действия; по конструкции — на барабанные, тарельчатые, дисковые, ленточные, шнековые, бункерные; по виду дозированного продукта — для сухих и влажных. Основная задача дозаторов — обеспечение заданной дозировки.

Использование очищенных, гранулированных, хорошо растворимых реагентов позволяет применить их сухое дозирование. Важной и неотъемлемой частью систем сухого дозирования являются небольшие хорошо перемешиваемые проточные емкости — растворные камеры. Растворенный реагент забирается эжектором и транспортируется водой к смесителю. Существенными преимуществами сухого дозирования являются компактность установки, предотвращение коррозии оборудования, простая схема автоматизации процесса и значительное снижение капитальных затрат.

Объемные сухие дозаторы подают определенный объем вещества за расчетный промежуток времени, массовые — массовое количество вещества. Объемные дозаторы,

которые конструктивно проще и дешевле, имеют точность дозирования 3 ... 5%. Точность массовых дозаторов около 1%, массовые дозаторы легче оборудовать записывающим устройством для регистрации количества дозируемого реагента и устройством для автоматической подачи реагента в воду.

Основные типы дозаторов, применяемые для сыпучих реагентов в водоподготовке

Тип оборудования	Краткая характеристика	Применимость
4.2.2.2.1. Шнековые дозаторы	Объемное дозирование сыпучего реагента с заданным расходом (в заданном количестве) с помощью шнека, регулируемого частотой оборотов вращения. Для ряда реагентов дозаторы оборудуются загрузочным бункером с ворошителем и внешним вибратором.	Наиболее часто применяемые дозаторы
4.2.2.2.2. Вибрационные дозаторы	Объемное дозирование. Регулирование дозирования осуществляется скоростью и интенсивностью прикладываемых вибраций	Для слеживаемых реагентов
4.2.2.2.3. Массовые дозаторы	Дозирование происходит не по объему, а по весу, постоянно измеряемому	Для поочередного дозирования разнородных реагентов, с различным объемным весом

4.2.3. Оборудование для «мокрого» дозирования (дозаторы растворов)

Сооружение, оборудование	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
4.2.3.1. Самотечные	Раствор реагент вытекает из бака, с расходом, постоянным во времени (постоянные дозаторы), либо обеспечивающим поддержание заданных параметров обрабатываемой воды (электропроводности, рН и т. д.) или расхода воды (пропорциональные дозаторы). Данная взаимосвязь является чисто механической	Оригинальные устройства, разработанные и применявшиеся в советский период, когда не было насосов-дозаторов и эффективных исполнительных механизмов. Низкая стоимость	Невысокая надежность, узкие диапазоны регулирования. Устаревшие конструкции. Не могут быть включены в АСУ ТП
4.2.3.2. Насосы-дозаторы	Необходимый расход подается принудительно	Полный контроль и управление расходов в любых диапазонах, на которые рассчитан насос. Использование в системах АСУТП	Относительно высокая стоимость

4.2.3.2. Насосы-дозаторы (оборудование для «мокрого» дозирования)

Насосы-дозаторы всех типов могут быть как одноканальные, в которых имеется возможность отмеривать и дозировать только один реактив и/или к одному потребителю, так и многоканальными, позволяющие вводить в воду несколько различных реактивов и/или подавать один, но к различным потребителям.

Сооружение, оборудование	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
4.2.3.2.1. Плунжерные (поршневые)	При помощи кривошипно-шатунного механизма вращательное движение двигателя преобразуется в возвратно-поступательное движение поршня (плунжера). Камера дозирования, в которой движется поршень, оснащена двумя обратными клапанами, входным и выходным, что позволяет жидкости двигаться только в одном направлении. При прямом ходе поршня реагент из камеры дозирования выдавливается через выходной клапан, при обратном ходе поршня через входной клапан за счёт создающегося разрежения реагент всасывается в камеру дозирования. Производительность насоса регулируется как скоростью движения двигателя, так и ограничителями хода	Могут обеспечить как высокие напоры, так и подачу больших расходов, с высокой вязкостью и удельным весом. В зависимости от типа насоса (диаметр поршня, характеристика насоса и число ходов поршня) подача может изменяться от нескольких десятых миллилитра до нескольких тысяч литров в час. Обеспечивают очень точное дозирование, т.к. и поршень, и рабочая камера, изготовлены из материалов, практически не подверженных каким-либо механическим изменениям в процессе эксплуатации насоса (за исключением процессов коррозии и механического износа движущихся частей)	Присутствует непосредственный контакт перекачиваемой среды не только с материалом рабочей камеры, но и с поршнем. Наличие абразивов в дозируемой жидкости (особенно микронных размеров) может привести к их накоплению в полости, образующейся между цилиндрическими поверхностями поршня и рабочей камеры, что вызовет дополнительный механический износ, а, в конечном счете, нарушение как точности дозирования (вплоть до «заклинивания» насоса), так и герметичности рабочей камеры
4.2.3.2.2. Диафрагменные	Всасывание и выталкивание вещества из рабочей камеры происходит за счет вынужденного колебания мембраны, которая фактически является одной из стенок рабочей камеры	Отсутствие каких-либо движущихся частей в рабочей камере, что исключает попадание в перекачиваемую среду каких-либо механических примесей при работе насоса. Возможность полного изготовления рабочей камеры из коррозионностойких	Невысокая точность дозирования (по сравнению с плунжерными). Это связано со переменностью свойств мембраны, как при изменениях температуры перекачиваемой среды, так в результате накапливающейся со временем «усталости»

		материалов, способных выдерживать контакт практически с любой агрессивной средой	материала мембраны. Риск разрыва мембраны в результате воздействия каких-либо крупных механических включений. Невысокая производительность мембранных насосов
4.2.3.2.3. Перистальтические (шланговые)	Круглая эластичная трубка насоса пережимается передвигающимися вращающимися роликами. В трубке происходит продвижение дозируемой жидкости или суспензии	Возможность дозирования вязких жидкостей и суспензий, отсутствие трущихся поверхностей. Простая замена рабочего органа (трубки)	Ограничения по создаваемому давлению и производительности. Последняя ограничена диаметром применяемой трубки и скоростью вращения роликов. Давление, создаваемое насосом, невелико и обуславливается, прочностными характеристиками материала эластичной трубки.
4.2.3.2.4. Эксцентриково-шнековые насосы	Вращающийся эксцентриковый ротор движется в соответствующем ему по форме статоре, передвигая вперед порции жидкости, зажатые между ними	Способен развивать высокие давления, обеспечивать большие расходы. Оптимален для дозирования растворов флокулянта при обезвоживании осадка. Способен перекачивать любые гели, в том числе специальные погружные насосы этого типа используются для перекачки гелеобразных реагентов прямо из товарной упаковки (бочки)	

4.2.4. Известковые хозяйства

Корректировка рН, и, как правило, в щелочную сторону, является чрезвычайно употребительным процессом при водоподготовке. Из нескольких щелочных реагентов (включая едкий натр и соду), известь является самым доступным экономически.

Использование извести как реагента в значительной степени отличается от большинства других реагентов, так как известь является мало растворимым веществом. Предельная растворимость извести при расчете на СаО при температуре 10 °С составляет всего около 1,3 г/л, поэтому известь дозируется в виде суспензии, называемой известковым молоком, с концентрацией до 5 % по СаО. Поскольку известковое молоко предрасположено к расслоению, то оно нуждается в постоянном

перемешивании. Кроме того, в извести содержатся песок и частицы «недопала» (карбоната кальция).

Варианты организации известкового хозяйства

Тип	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
4.2.4.1. Мокрое хранение	Известь доставляется уже в виде известкового молока и хранится в резервуарах с перемешиванием, откуда и отбирается на дозирование	Простое хозяйство	Большой объем перевозок и реакгентных емкостей. Высокая стоимость готового продукта- известкового молока
4.2.4.2. Сухое хранение негашеной извести	Приготовление известкового молока путем гашения извести в известегасилке и разбавления. Очистка получаемого молока в гидроциклонах или отстойниках	Малый объем склада, его простая конструкция	Сложное и дорогостоящее хозяйство. Высокая трудоемкость. Большое пылевыведение.
4.2.4.3. Сухое хранение и применение	Гашеная хорошо молотая известь хранится в силосах, транспортируется по станции пневматическим путем и дозируется в виде порошка	Наиболее экономичный и удобный способ хранения и применения	

4.2.5. Резервуары для хранения реагентов и их растворов

Коррозионноустойчивые емкости для хранения реагентов определяют значительную часть капитальных вложений в реагентное хозяйство

Тип	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
4.2.5.1. Полиэтилен	Емкости круглой формы, бесшовные, либо изготовленные методом ручной и машинной экструзионной сварки	Относительно невысокая цена. Срок службы 50 лет.	Невысокая прочность на изгиб, не позволяющая изготавливать большие емкости и применять прямоугольную форму. Нестойкость полиэтилена к ударным нагрузкам (образование трещин)
4.2.5.2. Полипропилен	Емкости круглой формы, либо прямоугольные, сварные. Самонесущие с ребрами жесткости, либо в металлокаркасах. Материал может быть футерован изнутри более дорогими пластиками (ПВХ, ПВДЭФ и др.), имеющими более высокие	Высокая прочность материала. Может использоваться для монтажа на месте прямоугольных емкостей. Может выполняться многослойным, с утеплением. Срок службы 50 лет.	Устойчивость к низким температурам ограничена (для разных видов полимера материала приобретает хрупкость от 0оС до -20 оС. Не устойчив к окислителям (гипохлорит натрия, концентр. серная кислота)

	показатели устойчивости к агрессивным реагентам		
4.2.5.3.Стеклопластик	Изготавливаются методом намотки. В зависимости от состава и концентрации вещества резервуар для агрессивной среды может быть 2-3 стенным, а также многослойным, где каждый слой имеет свой особый состав. Могут выполняться двустенными.	Корпус емкости является самонесущим. Стеклопластик практически не стареет. Нечувствительность к низким температурам. Срок службы 50 лет.	Единичная емкость ограничена транспортными габаритами – максимум 150 м ³
4.2.5.4.Сталь, покрытая стеклоэмалью	Емкости собираются из металлических листов которые между собой крепятся болтами и герметизируются при помощи силикона. Листы покрыты стеклоэмальевым покрытием (технология Glass-Fused-to-Steel – сплав металла со стеклом). Это монолитный прочный материал получен сплавлением друг в друга стекла и стали в технологических печах при температуре 800-1000	Непроницаемое для жидкостей и паров, покрытие предотвращает коррозионное отслаивание и обладает высокой ударной и абразивной прочностью. Практически неограниченный объем емкости. Срок службы 30-40 лет.	Стальные листы, покрытые стеклоэмалью не производятся в РФ. Больше подходят для слабоагрессивных материалов

4.2.6. Комплектные станции растворения и дозирования реагентов

В состав этих станций входит все оборудование, которое позволяет из товарных упаковок реагентов получать растворы нужных концентраций и дозировать их в нужных расходах в заданных или определяемых контроллером режимах. Оборудование для растаривания и перегрузки товарных реагентов, как правило, поставляется опционально.

Перемешивание для смешения может осуществляться как мешалками, так и циркуляционным насосом (это позволяет использовать насос и для перемешивания, и для перекачки)

Разновидности комплектных станций

Тип оборудования	Краткая характеристика	Применимость
4.2.6.1.Ручные станции приготовления и дозирования растворов	Предполагают ручную загрузку реагента в емкость и управление станцией непосредственно на месте со шкафа управления. Выпускаются в составе одной или двух емкостей. Станции с двумя емкостями позволяют поддерживать непрерывный режим дозирования благодаря периодической смене растариваемой емкости: пока идет дозирование из одной емкости, во второй готовят раствор. Станции в составе одной емкости требуют периодической остановки для приготовления новой порции раствора реагента, поэтому используются в процессах, где	На небольших низкбюджетных объектах

	такие остановки возможны.	
4.2.6.2. Автоматизированные станции приготовления растворов в периодическом режиме	Предполагают автоматическую работу в периодическом режиме, в том числе обусловленным характером процесса. Как правило, это одно- или двухемкостная станция. В одноемкостной станции (работает в полуавтоматическом режиме), приготовление, созревание (при необходимости) и дозирование раствора осуществляется в одном резервуаре.	Более экономичный вариант по сравнению с проточными станциями. Востребован для растворения флокулянта
4.2.6.3. Автоматизированные станции приготовления растворов в проточном режиме	Смачивание, растворение, созревание и отбор готового раствора происходит в одном бесперебойном процессе. В двухемкостной станции приготовление раствора осуществляется в камере приготовления, а созревание (при необходимости) и дозирование раствора осуществляется в камере отбора. При использовании трехкамерной станции разведённый раствор реагента из камеры №1 выталкивается через разделительную перегородку в камеру №2 - камеру созревания. Из камеры №2 уже созревший раствор выталкивается в камеру №3 - камеру отбора, из которой готовый раствор подается в технологический процесс	Оптimalен для крупных объектов

4.2.7. Электрокоагуляторы

При электрокоагуляции генерация коагулянта происходит за счет растворения металлических рабочих электродов-анодов в результате действия электрического тока. Растворение происходит в результате анодного окисления (отъема электронов), приводящего к образованию ионов металла. На катоде происходят процессы восстановления растворенных в воде веществ, в том числе их результатом является выделение газообразного водорода (что должно учитываться при создании и эксплуатации). Выделяющиеся ионы алюминия или железа образуются гидроокиси. Таким образом, результат эквивалентен вводу раствора коагулянта.

Метод весьма универсален и используется преимущественно в очистке промышленных сточных вод. При очистке питьевой воды электрокоагуляторы чаще оборудуются алюминиевыми анодами.

Применительно к водоподготовке электрокоагуляция находит применение, прежде всего в установках на промышленных предприятиях, а также на локальных установках в ВКХ и в отдаленных районах, что позволяет отказаться от завоза и громоздкой технологии реагентов.

Часто процесс совмещают с электрофлотацией полученного осадка гидроксида алюминия, что позволяет создавать чрезвычайно компактные установки

Потребление электроэнергии при очистке воды с Ц менее 90° и окисляемости до 12 мг/л, с удалением цветности на 70-80% составляет до 40 Вт-ч/м³, а расход алюминия составляет около 4-7 г/м³, что вполне приемлемо.

Технологические отличия электрокоагуляции от обычного коагулирования позволяют эффективно применять ее не только для схем осветления и обесцвечивания, но для обезжелезивания, обескремнивания, и для обесфторивания.

При электрокоагуляции эффект обезжелезивания выше, чем при обработке воды коагулянтами, так как наряду с генерацией гидроокиси алюминия проходят

окислительные процессы на анодах и в межэлектродном пространстве, особенно в присутствии соединений хлора.

Обезжелезивание электрокоагуляцией может производиться одновременно с осветлением и обесцвечиванием воды, так как какого-либо отрицательного влияния цветности на процесс обезжелезивания не обнаружено, а в присутствии тонкодисперсных суспензий он интенсифицируется, поскольку появляются дополнительные центры хлопьеобразования.

Главная проблема, решаемая при разработке электрокоагуляторов – предотвращение засорения осадками пространства между электродами.

Типы электрокоагуляторов

Тип	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
4.2.7.1.Безнапорные электрокоагуляторы			
4.2.7.1.1.Пластинчатый	Пластины металла располагаются на расстоянии 3-20 мм и удерживаются изолирующими вставками	Самая простая конструкция	Статичное расположение электродов ведет к их засорению осадками. Применяются цельнометаллические электроды из профиля
4.2.7.1.2. С вращающимися электродами	Электроды закреплены на вращающемся валу и при вращении пространство между ними прочищается гребенкой	Обеспечивается очистка электродов	Применяются цельнометаллические электроды из профиля
4.2.7.1.3.Реактор-электрокоагулятор	Вода в корпусе установки циркулирует с помощью внутреннего эжектора (эрлифта), обеспечивая этим очистку электродов	Обеспечивается очистка электродов	Применяются цельнометаллические электроды из профиля
4.2.7.1.4. С засыпными электродами	Разделенные друг от друга ячейки заполнены обрезками, стружками металла или металлизированным окатышем		Нарушение электрического контакта между анодом и стружкой по мере ее растворения. Накопление гидроксидов металлов в засыпке электродов, увеличение напряжения и расхода электроэнергии из-за увеличения электрического сопротивления, вызванного загрязнением электродов
4.2.7.2.Напорные электрокоагуляторы			
4.2.7.2.1.С трубчатыми засыпными электродами	Коаксиально расположены стальные трубы (катод) и дырчатые пластиковые, с засыпкой из	Не происходит накопления гидроксидов. Используется дешевое сырье для металлургии	

	металлокатышей (сырье для металлургии)		
--	---	--	--

5. Сооружения для реагентной очистки воды

Реагентная обработка коагулянтом занимает центральное место в очистке поверхностных вод. Она позволяет не только удалять из воды природные взвешенные и коллоидные загрязнения воды, характеризующиеся мутностью, но также, за счет сорбционных свойств гидроксидов - и существенную часть растворенных природных органических соединений (характеризуемых цветностью), и некоторых антропогенных загрязнений (тяжелые металлы). Для повышения эффективности удаления растворенных высокомолекулярных органических загрязнений, присутствующих в высокоцветных водах, реагентной обработке во многих случаях должна предшествовать окислительная, призванная не только расщепить, но трансформировать эти соединения и повысить их извлекаемость реагентной обработкой (с. раздел Методы очистки высокоцветных вод) при сокращении дозы реагента. Для повышения эффективности выделения взвесей применяется дополнительная обработка полимерными флокулянтами, увеличивающая крупность хлопков гидроксидов.

Основная задачи оптимизации процесса реагентной очистки сводятся к наиболее эффективной коагуляции и сорбции загрязнений при минимальных затратах коагулянта, а также к последующему максимально глубокому удалению взвеси гидроксидов алюминия или железа. Задача отделения взвесей также решается в большинстве технологий очистки природных вод, при которых образуются взвешенные вещества (гидроксид железа (III), оксид марганца (IV), элементарная сера, карбонат кальция и др.)

Оптимизация расхода реагента-коагулянта (одна из основных статей затрат на водоподготовку поверхностных вод) при одновременном обеспечении надлежащего качества питьевой воды – одна из важнейших целей эффективных технологий водоподготовки

Основные сооружения реагентной обработки и последующего отделения взвесей

5.1. Смесители	5.2. Камеры хлопьеобразования (КХО)	5.3. Сооружения для отделения твердой фазы (гидроксидов алюминия и железа, других нерастворимых соединений)
----------------	-------------------------------------	---

5.1. Смесители

Служат для равномерного распределения реагентов в массе обрабатываемой воды. Смешение воды с реагентами должно быть быстрым (0,5-2 минуты).

Тип	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
5.1.1. Механические	Перемешивание воды с растворами реагентов осуществляется в камерах смешения турбинными, пропеллерными и лопастными мешалками на вертикальной оси. Продолжительность перемешивания в таких смесителях составляет 30...60 с. Быстрый перенос частиц	Снижение капитальных затраты за счет сокращения времени пребывания воды в отстойниках и осветлителях со слоем взвешенного осадка. Снижение расхода коагулянта до 25 %. Возможность регулировать параметры смешивания	

	обеспечивает оптимальный эффект коагуляции за счет быстрого получения оптимальной концентрации реагента во всем объеме	адекватно количеству и качеству обрабатываемой воды. Удобны при введении нескольких реагентов. Минимальные потери напора. Очень компактны	
5.1.2. Гидравлические			
5.1.2.1. Смешение в трубе	Сужения в виде трубы Вентури, эжектора или диафрагмы (шайбы) создают вихревые потоки в обрабатываемой воде, что благоприятствует смешению ее с реагентами.	Наиболее компактный способ смешения	Смешение неоптимально
5.1.2.2. Дырчатые и перегородчатые смесители	Перпендикулярно движению воды установлены несколько перегородок с отверстиями (проемами) в шахматном порядке		Высокие потери напора.
5.1.2.3. Вертикальные (вихревые)	Реагенты подаются в трубопровод перед его впуском снизу вверх в емкость, из которой вода вытекает по сборному лотку	Хорошо работает при смешении с суспензиями	
5.1.2.4. Коридорные	Вода, в которую поданы (подаются) реагенты, движется по системе коридоров с числом поворотов потока, возникающие на поворотах вихревые потоки осуществляют перемешивание	Удобен при последовательном введении нескольких реагентов на станциях большой производительности	
5.1.2.5. Перфорированные распределители коагулянта	Радиальные (камерно-лучевые) дырчатые трубопроводы позволяют распределить реагент по поверхности камеры смешения	Отсутствуют потери напора. Компактное устройство	Требуется промывка отверстий. Смешение неидеальное

5.2. Камеры хлопьеобразования (КХО)

Применяются при обработке коагулянтами и флокулянтами. Служат для формирования крупных хлопьев путем агломерации более мелких хлопьев. Необходимы перед отстойниками.

Ряд технических решений конструктивно имеют много общего со смесителями, отличаясь от них меньшими скоростями в сооружениях.

Разновидности камер хлопьеобразования

Тип	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
5.2.1. Механические	Плавное перемешивание лопастными мешалками на вертикальной оси	Возможность поддержания необходимых гидравлических условий при различных расходах воды. Возможность регулирования скорости перемешивания	
5.2.2. Гидравлические			
5.2.2.1. Перегородчатые с вертикальной циркуляцией	Ряд перегородок, частично перекрывающих сечение, заставляет поток изменять свое направление в вертикальной плоскости. время пребывания 20-30 мин.		Применение целесообразно при расходе не менее 6 тыс. м ³ /сутки
5.2.2.2. Перегородчатые с горизонтальной циркуляцией	Сооружение имеет коридорную компоновку, что заставляет поток 8-10 раз менять свое направление в плане на противоположное.		Применение целесообразно при расходе не менее 40 тыс. м ³ /сутки
5.2.2.3. Вихревые	Коническая емкость с подачей воды в нижней точке и кольцевым желобом-водосливом	Не имеет ограничений по расходу	
5.2.2.4. Контактные	Формирование крупных частиц происходит на поверхности частиц крупнозернистой плавающей загрузки при прохождении обработанной реагентами воды сверху вниз через слой фильтра.	Компактное сооружение, которое может быть реализовано внутри отстойника, на впуске воды в него (в особенности в вертикальном отстойнике)	Не применима на мутных (свыше 150 мг/л) водах.

5.3. Сооружения для осветления воды (отделения твердой фазы)

Задача отделения твердой фазы (гидроксидов алюминия и железа, других нерастворимых соединений) может решаться как в одну ступень, так и в несколько. Число ступеней определяется:

- характеристиками исходной воды и количеством образующейся взвеси (что, в свою очередь, определяется как
- уровнем сооружений,
- применяемыми технологиями.

Технологии отделения твердой фазы от воды

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
5.3.1. Флотационное отделение	Тонкодисперсные пузырьки воздуха поднимают на поверхность воды частицы взвеси, образуя пенный слой, удаляемый скребками. Образование тонкодисперсных пузырьков в воде может быть осуществлено различными способами	Быстрое разделение твердой и жидкой фаз, отделение концентрированной флотопены. Позволяет отделять не только взвесь, но и нефтепродукты, ПАВ и даже некоторые ионы.	Энергоемкий метод. Требуется применение относительно сложного оборудования
5.3.2. Гравитационное отстаивание	Обработанная реагентами вода подвергается отстаиванию в относительном покое. Осветленная вода собирается и отводится. Периодически отводится накопленный осадок	Простое емкостное сооружение	Недостаточно эффективно применительно к маломутным цветным водам
5.3.3. Отделение во взвешенном слое	Обработанная реагентами вода пропускается через сформировавшийся при заданной скорости потока взвешенный слой осадка, в результате чего происходит контактная коагуляция взвешенных и коллоидных веществ. Периодически отводится накопленный и уплотнившийся осадок	Более высоконагружаемое сооружение, чем отстойник. Позволяет эффективно обрабатывать маломутные воды. В сооружении происходит одновременное накопление осадка	Чувствителен к колебаниям расхода воды. Не применяется при расходах менее 5 тыс. м ³ /сутки и на высокомутных водах
5.3.4. Фильтрационное отделение	В процессе пропускания обработанной реагентами воды через загрузку происходит адгезия (прилипание) взвешенных и коллоидных частиц к поверхности зерен фильтрующего материала либо к ранее прилипшим частицам. По мере накопления взвеси производится промывка фильтра	В значительной степени универсальный, и эффективный метод. может применяться как на стадии доочистки после осветления, так и как самостоятельное сооружение. Небольшое время обработки. Может применяться в напорном исполнении	Достаточно сложная конструкция, требующая тщательного распределения воды, подбора загрузки, предотвращения ее выноса и т.п.
5.3.5. Контактное фильтрование	На поверхности крупнозернистого песка и гравия при прохождении обработанной реагентами воды происходит формирование частичек взвеси. По мере накопления взвеси производится промывка фильтра	В значительной степени универсальный, и эффективный метод. может применяться как на стадии доочистки после осветления, так и как самостоятельное сооружение. Коагуляция на	

		загрузке повышает эффективность обработки маломутных цветных вод Небольшое время обработки.	
5.3.6. Мембранное отделение	Большая группа методов, объединяемая тем, что очистка воды происходит в результате фильтрации через отверстия в перегородке (мембрану), при которой все частицы большей крупности задерживаются и отводятся, в жидкость с частицами меньшей крупности проходит через мембрану. Детально см. раздел	В зависимости от типа мембраны – самое разнообразное применение. В области отделения взвесей существуют опции как для обработки мутных вод, так и для тонкой доочистки	Высокая стоимость мембран, снижающаяся по мере совершенствования конструкций и увеличения их выпуска

5.3.1. Флотационное осветление

Методы флотации различаются, в основном, источником образования в воде микропузырьков воздуха, осуществляющих отделение частичек взвеси.

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
5.3.1.1. Напорная флотация	Пузырьки образуются в результате предварительного растворения в воде газа (воздуха) под давлением, с последующим сбросом давления	Позволяет ввести в воду значительное количество воздуха	Использование сосудов под давлением.
5.3.1.2. ИмPELLерная (механическая) флотация	Микропузырьки вводятся путем диспергирования воздуха вращающейся турбиной, всасывающей воздух за счет создаваемого разрежения	Технически простой метод. Не используется давление	Используется специальное оборудование (импеллеры)
5.3.1.3. Пневмофлотация	Пузырьки образуются в результате пневмоаэрации через мелкопористые диспергаторы	Простейший метод, не требующий никакого специального оборудования	Невысокая эффективность
5.3.1.4. Электрофлотация	Пузырьки газа (водорода и кислорода) образуются в результате электродных процессов (электролиза). Как правило, применяется только вместе с приготовлением и введением коагулянта методом электрокоагуляции (электролиза расходных металлических электродов)	Компактный метод. Высокая эффективность за счет особо мелких пузырьков газа	Потенциальная опасность при выделении газообразного водорода. Существенный расход электроэнергии
5.3.1.5. Вакуумная флотация	Пузырьки образуются из воздуха, подсосанного в воду в результате использования вакуумного эжектора	Компактный метод.	

5.3.2. Гравитационное отстаивание

Тип сооружения	Краткая характеристика	Применимость	Преимущества/ Недостатки
5.3.2.1. Горизонтальный отстойник	Прямоугольный, вытянутый по потоку воды резервуар, в котором осветляемая вода движется в направлении, близком к горизонтальному. Удаление осадка с дна – как гидравлическое, так и механическое	На средних и крупных станциях (свыше 30 тыс. м ³ /сутки) При мутности до 1500 мг/л, цветности до 120 мг/л. При наличии достаточной площади	Наиболее универсальное отработанное сооружение.
5.3.2.2. Радиальный отстойник	Круглый в плане резервуар, высота которого невелика по сравнению с диаметром. Осветляемая вода движется от центра к периферии в радиальном направлении, близком горизонтальному и собирается сборными желобами или погружными дырчатыми трубами. Удаление осадка – механическое (скребком)	Целесообразен только для высокомутных вод на средних и крупных станциях	Занимают больше площади, по сравнению с горизонтальными отстойниками. Требуют обязательного использования ферм и скребков для сгребания осадка
5.3.2.3. Вертикальный отстойник	Круглый в плане резервуар диаметром до 10 м, конусным дном и встроенной КХО водоворотного типа	Применим на малых и средних станциях	В принципе не требует сгребания осадка по дну, компактное сооружение. Область применения ограничена
5.3.2.4. Тонкослойный отстойник	Любая из конструкций 3.2.1-3.2.3 может быть выполнена с использованием тонкослойными модулями (пакеты наклонных поверхностей, расположенных на расстоянии 5-7 см друг от друга, на которые происходит оседание осадка и его сползание под своим весом)	Целесообразен на средних и крупных станциях. Применение принципа тонкослойного отстаивания перспективно при реконструкции действующих отстойников различного типа с целью увеличения их производительности. Это является наиболее экономичным, а в ряде случаев единственным решением. При этом реконструкция сооружений может быть осуществлена в кратчайший срок	Использование тонкослойных модулей позволяет до 60% уменьшить объем отстойников и/или до 30% повысить эффективность осветления и снизить нагрузку на последующую стадию фильтрации. повышенная устойчивость к колебаниям нагрузки. Применение модулей создает ряд потенциальных рисков: недостаточно эффективного самоочищения от осевшей взвеси может привести к их забиванию и разрушению. Эти риски устраняются путем применения соответствующих материалов и конструкций модулей, а также их регламентной эксплуатацией
5.3.2.5. Отстойники с рециркуляцией осадка	Отделенный осадок, отбираемый из отстойника, возвращается обратно в зону реакции и смешения	Повышает эффективность отстаивания и/или использования реагентов, в особенности на маломутных водах.	
5.3.2.6. Отстойники с рециркуляцией быстрооседающих присадок	В обрабатываемую воду вводится микропесок (обычный или магнетитовый). Эти частицы выступают в роли центров флокуляции и утяжеляют частицы осадка.	Значительное увеличение эффективности на маломутных водах при высокой скорости процесса	Необходимость догрузки микропеска, т.к. его выделение происходит не полностью

	После выгрузки осадка он обрабатывается в гидроциклонах (при использовании обычного песка) или в магнитных ловушках, отделенный микроскопический рециркулирует		
--	--	--	--

Дополнительная информация:

Оборудование отстойников играет важную роль в обеспечении их работоспособности и предлагается многими компаниями.

5.3.2А.1. Механические системы удаления осадка с дна отстойника.

Применимы для осадков мутных вод. Для осадков маломутных цветных вод больше подойдут классические системы гидроудаления (дырчатые трубы).

5.3.2.А.1.1. Цепной скребковый транспортер

Скребки движутся по дну бесконечными цепями из сверхпрочного пластика, к которым они прикреплены с обеих сторон, приводимыми в действие ведущей шестерней (шестернями) от двигателя, расположенного над поверхностью воды.

Хорошо отработанная конструкция, быстрое продвижение осадка к приемке.

Относительно высокая материалоемкость, большая протяженность цепей. Ограничения по ширине обслуживаемого отстойника. Риск перекоса скребков.

5.3.2.А.1.2. Возвратно-поступательный скребок

Транспортировка осадка по дну осуществляется треугольными в разрезе (передняя часть – перпендикулярная дну) скребками, размещенными на придонной раме, совершающей возвратно-поступательные движения. Рама приводится в действие гидроприводом.

Низкая металлоемкость, нет ограничений по ширине отстойника (может быть использовано несколько скребков по ширине). Относительно требовательны к состоянию и геометрии дна.

5.3.2А.2. Тонкослойные модули

Основной элемент тонкослойных отстойников (см. 5.3.2.4). Могут быть образованы полочными и трубчатыми модулями. Трубчатые выполняются блоками. Преимущество трубчатых модулей — возможность использования пленочного материала для изготовления блоков, поскольку трубчатая конструкция обладает большой жесткостью. Полочные конструкции могут как монтироваться в виде модулей, так и собираться на каркасе в отстойнике.

Трубчатые модули выполняются обычно из полипропилена, полочные – из ПВХ.

Существуют три схемы работы тонкослойного отстойника: противоточная, прямоточная и перекрестная. При противоточной схеме осадок движется против движения основного потока; при прямоточной — направления движения этих двух потоков совпадают; при перекрестной схеме осадок движется поперек направления движения основного потока. Противоточное движение осветленной воды и осадка более эффективно по сравнению с прямоточным и поперечноточным, так как при нем наблюдается более эффективная агломерация взвешенных веществ.

Основной недостаток отстойника тонкослойного с противоточной схемой - неудачное решение узла распределения воды между ярусами. Поэтому коэффициент использования последних при расчете отстойника тонкослойного, работающих по этой схеме, принимают не более 0,5. Лучшее распределение воды между противоточными ярусами обеспечивается при равномерном сборе осветленной воды с поверхности благодаря оборудованию отстойника тонкослойного дополнительными водосборными лотками или затопленными дырчатыми трубами. Последние объединены общим трубопроводом или лотком, соединенным с водоприемной камерой, имеющей регулируемый по высоте водослив, который необходим для поддержания заданного уровня воды в отстойнике тонкослойном. Наиболее равномерное распределение воды между ярусами обеспечивается в отстойнике тонкослойном, работающем по перекрестной схеме.

5.3.2.А3. Совмещенные конструкции отстойников.

Конструкции отстойников могут включать в себя встроенные смесители и КХО. В этих конструкциях очень удобно использовать технологии с рециркуляцией осадка.

5.3.3. Отделение во взвешенном слое

Основной принцип работы заключается в использовании уже сформировавшихся взвешенных частиц для флокуляции и отделения от воды вновь образующихся частиц. С целью поддержания взвешенного фильтра из частиц осадка в сооружении поддерживается необходимая скорость восходящего потока воды.

При подаче постоянного расхода воды структура взвешенного слоя (как в любом фильтре) становится неоднородной, формируются «каналы протока», в результате эффективность работы сооружения падает.

Этого можно избежать, применяя пульсирующий режим подачи воды, чередуя кратковременную подачу большого расхода, в результате чего происходит взмучивание слоя и резкое его расширение, а затем, при подаче рабочего расхода, осадок оседает в компактный взвешенный слой.

Подача воды осуществляется через придонные перфорированные трубы. Реализация пульсирующего режима возможна путем использования в конструкции со стороны притока встроенной вакуумированной камеры, в которой накапливается существенный объем воды. При достижении в камере соответствующего уровня срабатывает простейшая автоматика и происходит сброс разрежения. В результате накопленный над уровнем сооружения объем воды сбрасывается через взвешенный слой, резко расширяя его и перемешивая.

Преимуществами технологии осветлителя являются:

- простота конструкции и возможность применения любых форм,
- очень эффективное осветление воды при высоких скоростях – до 4 м/ч,
- отсутствие механического оборудования, что повышает надежность и снижает затраты,
- низкие эксплуатационные расходы, в том числе из-за оптимизации расхода реагентов.

Осветлитель со взвешенным слоем может быть совмещен с тонкослойным отстойником в комбинированное сооружение. В этой конструкции ламели располагаются над взвешенным слоем осадка, который в данном случае также выполняет роль эффективного распределителя расхода. Использование пластин позволяет поддерживать существенно более высокую концентрацию осадка в слое (примерно в 2 раза).

5.3.4. Фильтрационное отделение

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
5.3.4.1. Зернистые фильтры	Фильтрация осуществляется через загрузку, имеющую форму зерен. Периодически проводится промывка загрузки	Могут быть использованы природные материалы с различными свойствами, а также полимерные изделия	Высокая материалоемкость, риск выноса загрузки из фильтра и/или ее измельчения
5.3.4.2. Сетчатые или тканевые фильтры	Вода проходит через ячеистые сетки или ткани, расположенные в напорном корпусе	Компактные напорные полностью автоматизированные устройства	Оборудование для небольших объектов. Сетчатый фильтрующий элемент ограничивает рабочее давление. Эффективность задержания частиц относительно невысокая
5.3.4.3. Намывные фильтры	Вода фильтруется через тонкие намывные слои фильтрующих материалов, формируемых на поверхности патронных или сетчатых фильтроэлементов (отверстия менее 150 мкм) перед каждым фильтроциклом. Для формирования слоя вводят порошок (диатомит, целлюлоза, бентонит) в количестве до 600 г/м ² фильтрующей поверхности. Порошок может пополняться в ходе фильтроцикла в дозе 3-10 мг/л. По окончании фильтроцикла порошок удаляется вместе с загрязнениями обратной промывкой	Очень компактное сооружение.	Применимы только для доочистки. Сооружение требует либо постоянной эксплуатации персоналом, либо высокой степени автоматизации. Расходуется фильтрующий порошок

5.3.4.4. Фильтры со сжимаемой волокнутой загрузкой	Вода проходит через механически сжатые дырчатым поршнем волокнутой загрузку (путанка полимерных нитей). При снятии давления сжатая загрузка расправляется и промывается, плавающая в объеме, водой и воздухом	Низкая материалоемкость. доступное сырье для изготовления загрузки. Высокая скорость фильтрации. Простая, удобная и эффективная отмывка. Может работать в широком диапазоне нагрузки по загрязнению	Не апробирована в России
--	---	---	--------------------------

5.3.4.1. Зернистые фильтры

Главной задачей оптимизации зернистых фильтров является повышение использования грязеемкости загрузки при сохранении эффективности удаления мутности. Чем меньше крупность загрузки – тем выше эффективность, но тем меньше скорость фильтрования и тем меньшая часть объема загрузки задействуется в процессе, т.к. происходит коагуляция поверхностного слоя.

Для оптимизации процесса часто применяют в одном сооружении загрузку различной крупности и плотности:

I. Однослойные фильтры – те, в которых загрузка фильтра однородна по материалу и отличается только по крупности.

II. Многослойные фильтры –содержащие 2 и более вида загрузки, отличающейся как по размеру зерен, так и по плотности.

В зависимости от крупности зерен разделяют:

А. Мелкозернистые фильтры (см. раздел Безреагентная очистка, 2.1), с размерами зерен верхнего слоя 0,3-0,5 мм. Используются для медленной фильтрации при скоростях фильтрации до 0,2 м/ч,

Б. Среднезернистые фильтры с размерами зерен верхнего слоя 0,5-0,8 мм (например, скорые фильтры, работающие со скоростями 5-15 м/с),

В. Крупнозернистые фильтры с размерами зерен верхнего слоя 1,0-2,5 мм (например, предварительные фильтры).

По направлению движения воды разделяют:

1. Вертикальное движение воды,
2. Горизонтальное движение воды,
3. Радиальное движение воды,
4. Многопоточные системы

По свойству загрузок разделяют:

- а. зернистые фильтры с тяжелыми (плотность больше плотности воды) загрузками. Для целей удаления мутности используют загрузки: кварцевую, антрацитовую, дробленый керамзит, горелые породы, вулканические шлаки, мраморную крошку.
- б. фильтры с плавающими (полуплавающими) загрузками. Используют: пенополистирольные, пенополиуретановые гранулы, а также замкнутоячеистые гранулы природных (шунгизит) и искусственных материалов (стеклопор и т.п.).

По гидравлическим условиям работы фильтры также разделяют на:

- безнапорные (открытые) – индекс кода О
- напорные – индекс кода Н

По режиму промывки фильтры подразделяются на:

- (1) фильтры с периодической промывкой,
- (2) фильтры с непрерывной сегментарной промывкой,
- (3) фильтры с непрерывной промывкой движущейся загрузки

С учетом наличия как минимум 6 критериев различия фильтров их более детальное описание в данном разделе невозможно

Полное описание типа зернистого фильтра и его загрузки может быть дано в виде кода с использованием приведенных выше индексов по системе: I-A-1-a- O –(1)

5.3.5. Контактное осветление

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
5.3.5.1. Контактные осветлители	Вода подается снизу вверх, что позволяет использовать не только эффект адгезии, но и взвешенного слоя осадка. Слой основной загрузки находится на поддерживающем слое, в котором производится распределение подаваемой воды	Совмещает в себе функции осветлителя и фильтра, при сокращении времени обработки. Общий объем сооружений сокращается в несколько раз, при снижении потребности в коагулянтах на 15-20%. Эффективны для маломутных цветных вод	Водораспределительные системы, подающие неочищенную воду, могут забиваться скоагулированной взвесью. Это вынуждает использовать специальные решения, предотвращающие это.
5.3.5.2. Контактные фильтры	В отличие от контактных осветлителей обработанная реагентами вода фильтруется в более традиционном для зернистых фильтров направлении сверху вниз. Подача коагулянта	Эффективная очистка маломутных цветных вод Отсутствуют водораспределительные системы и проблемы с их забиванием.	Применимы как одноступенчатые сооружения при общем содержании взвеси (с учетом образовавшейся от подачи коагулянта) до 50 мг/л.

	производится непосредственно перед поступлением в фильтрующую загрузку, поэтому КХО не требуется		
5.3.5.3. Контактные префильтры	Аналогичны по конструкции контактными осветлителям	Позволяют эффективно удалить значительное количество взвеси (но не до ПДК), т.е. используются вместо отстойников или других подобных сооружений	

5.3.6. Мембранное отделение взвесей

Для отделения взвесей и коллоидов используются ультрафильтрационные мембраны (см. раздел 9.4). Глубокое удаление твердых, а также коллоидных частиц, включая бактерии, коллоидное железо, другие трудновыделяемые формы веществ (кремний и др) позволяет обеспечить соблюдение ПДК, а также микробиологическую безопасность воды при пониженных дозах обеззараживающих реагентов

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
5.3.6.1. Керамические мембраны	Вода проходит через прочные керамические тупиковые сотовые структуры, состоящие из параллельных трубок, фильтруясь через их стенки. Внутри трубок накапливается осадок. Обратная промывка происходит давлением воздуха. Периодически осуществляется химическая промывка	Может обрабатываться вода после подачи реагентов и образования хлопьев. Обеспечивает полное удаление взвешенных и коллоидных загрязнений, обеспечивая глубокую очистку в одну ступень. Удаляемый при промывке осадок может быть сразу направлен на обезвоживание. Длительный срок службы керамических мембран	Технология не апробирована в России
5.3.6.2. Полимерные мембраны	Вода после фильтров подается на мембраны на доочистку и фильтруется через полимерные стенки мембран в межмембранное пространство. Мембраны размещены в прочной напорной трубе. Концентрат, не прошедший через мембрану, сливается	Эффективный метод глубокой очистки воды по многим показателям	Дорогостоящее оборудование. Высокие эксплуатационные затраты. Необходимость надежного предварительного удаления взвесей на фильтрах до приемлемых уровней, а также отсутствие соединений, формирующих отложения на мембране, иначе будет происходить ускоренное забивание мембран, рост давления и прорывы

6. Удаление антропогенных примесей

Основные загрязнения вод в результате антропогенного воздействия

6.1. Фенолы	6.2. Пестициды	6.3. Галогенорганические соединения
6.4. СПАВ	6.5. Соединения тяжелых металлов и металлоидов	6.6. Диоксины
6.7. Радиоактивные ионы	6.8. Соединения азота	

6.1. Очистка от фенолов

Технологии удаления основаны на способности фенолов к окислению как в химических, так и в биохимических реакциях

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
6.1.1. Окислительные методы	Введение в воду хлора, озона, перекиси водорода, перманганата калия		
6.1.1.1. Окисление хлором	Оптимально протекает в диапазоне pH 7,5-8,5 при использовании в качестве коагулянта трехвалентного железа (катализатор окисления)	Доступный реагент, часто присутствующий на сооружениях	При недостаточно высоких соотношениях активного хлора и фенолов окисление происходит неполно и образуется хлорфенол
6.1.1.2. Окисление озоном	Введение озона в воду с помощью диспергаторов в бассейнах озонирования. Процесс наиболее эффективно происходит в щелочной среде	Эффективное окисление без побочных эффектов	Дорогостоящее и сложное оборудование для производства озона. Требования к технике безопасности
6.1.1.3. Окисление перекисью водорода	Также необходима слабощелочная среда и наличие двухвалентного железа как катализатора	Эффективное окисление без побочных эффектов	Проблемы при хранении перекиси водорода
6.1.2. Биохимическое окисление	Используются аэробные биореакторы с загрузкой любого типа, с адаптированной микрофлорой.	Не требует применения реагентов.	Применимо при температуре воды выше 5 оС.

6.2. Очистка от пестицидов

Большинство пестицидов трудноокисляемы, при этом процессы окисления происходят с образованием промежуточных продуктов реакции. Это обуславливает центральное место в удалении пестицидов сорбционных технологий.

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
6.2.1. Сорбционные методы			
6.2.1.1. Сорбция порошкообразным активным углем (ПАУ)	Рекомендовано дробное введение угля в нескольких точках	Оптимально при периодическом появлении пестицидов в воде как временная мера. Не требует создания специальных сооружений,	Высокая доза ПАУ. Безвозвратная его потеря и необходимость удаления и размещения как отхода. По этим причинам постоянное применение

		кроме соответствующего реагентного хозяйства. Более высокая емкость по пестицидам, чем у ГАУ	экономически нецелесообразно
6.2.1.2. Сорбция гранулированным активным углем (ГАУ)	Производится в фильтрах с ГАУ, располагаемых после обычных фильтров	Расход сорбента существенно снижается за счет его полного использования	В основном удаляет хлороорганические пестициды, удаление других классов происходит хуже. В России пока нет возможности регенерации ГАУ
6.2.2. Окислительные методы	Применимо к некоторым пестицидам. Хлорофос практически не окисляется		
6.2.2.1. Окисление хлором	Применение повышенных доз хлора, с использованием, при необходимости, последующего дехлорирования	Доступный реагент, часто присутствующий на сооружениях	Образование промежуточных хлороорганических соединений
6.2.2.2. Окисление озоном	Введение озона в воду с помощью диспергаторов в бассейнах озонирования	Одновременно обеспечивает обесцвечивание и обеззараживание воды.	Дорогостоящее и сложное оборудование для производства озона. Требования к технике безопасности
6.2.3. Окислительно-адсорбционные методы	Последовательное применение окислителей и ГАУ. Возможно применение нескольких окислителей, причем неоднократно (например, первичное озонирование с перманганатом калия, сорбция на ГАУ и постозонирование)	Наиболее эффективный метод. Повышение эффективности очистки в том числе за счет продолжения процессов окисления на поверхности ГАУ. сорбция полупродуктов окисления на ГАУ. Сокращение расхода реагентов и повышение срока службы ГАУ	Более сложная, комплексная схема

6.3. Очистка от галогенорганических соединений

Летучие галогенорганические соединения (ЛГОС), как правило, не присутствуют в природной поверхностной воде, а образуются при хлорировании воды с высокой цветностью, а также с высоким содержанием нефтепродуктов и планктона. Наиболее опасным из ГОС является хлороформ (трихлорметан).

Подземные воды могут содержать ГОС в результате их загрязнения.

Очистка от ЛГОС, либо, что актуальнее, предотвращение их образования, является одной из важнейших задач современных систем водоподготовки.

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
6.3.1. Устранение условий для образования хлорфенолов в процессе			

водоподготовки			
6.3.1.1. Отказ от хлорирования воды с высоким содержанием органики	Отказ от первичного хлорирования в пользу озонирования или других методов	Образование хлоренолов не происходит. Озонсорбция - комплексный метод глубокой обработки воды	Озонирование требует дорогостоящего и сложного оборудования для производства озона. Во многих случаях требуется дополнение обработкой ГАУ. Дополнительные требования к технике безопасности
6.3.1.2. Использование хлораммонизации на стадии первичного хлорирования	См. раздел ...	Не используются специальные сооружения и дорогостоящие реагенты	Имеет ограничения по условиям применения
6.3.1.3. Снижение дозы хлора при первичном хлорировании	См. раздел ...	Не используются специальные сооружения и дорогостоящие реагенты	Дает частичный эффект. Применимо при небольшом масштабе проблемы, либо в комплексе
6.3.2. Окислительные, сорбционные и комбинированные методы	Аналогично разделу 6.2		
6.3.3. Отдувка	Обработка на вентиляторных градирнях	Технически простой метод	Высокий расход электроэнергии на работу вентиляторов

6.4. Очистка от СПАВ

Традиционные методы водоподготовки позволяют снизить содержание СПАВ до 2-3 раз. Единственным доступным методом глубокого снижения концентраций ПАВ в 10-15 раз является обработка на фильтрах с ГАУ (См. Сорбционная очистка)

6.5. Очистка от соединений тяжелых металлов и металлоидов

Проблема тяжелых металлов (ТМ) как антропогенных загрязнений актуальна для поверхностных водоисточников. В подземных водах повышенные концентрации металлов формируются в зонах с их повышенным природным содержанием.

Очистка от ТМ сводится к двум последовательным процедурам: связывание ТМ в нерастворимые (труднорастворимые) соединения и их выделение в осадок.

В определенных пределах удаление тяжелых металлов происходит при обработке коагулянтами, с применением флокулянтов.

Технологии очистки от соединений тяжелых металлов и металлоидов

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
6.5.1. Реагентное осаждение	Образование гидроксидов металлов в результате добавления щелочи, с последующим их осаждением в отстойниках. Для удаления мышьяка используют гидроксид магния	Технически простой метод	Образуется большой объем шлама

6.5.2. Ионообменное удаление	Обработка в фильтрах, загруженных катионообменной смолой	Отработанная технология	Неизбирательна по отношению к тяжелым металлам
6.5.3. Осаждение в виде карбонатов (применительно к свинцу)	Обработка на фильтре, загруженном природными разновидностями карбоната кальция (известняк, мрамор, мел).	Технически простой метод	

6.6. Очистка от диоксинов

Выделяют полихлордибензодиоксины (ПХДД) и сходные с ними полихлордибензофураны (ПХДФ). Эти супертоксиканты оказывают канцерогенное воздействия при ничтожных концентрациях (ПДК для ПХДД 20 пикограмм)

Источниками загрязнения вод диоксинами являются специфические производства, а также установки сжигания отходов.

Также образование диоксинов возможно из фенолов и хлорфенолов при хлорировании вод, загрязненных органикой.

Для недопущения образования диоксинов и фуранов следует применять методы, аналогичные предотвращению образования ЛГОС (раздел 3).

Оптимальным методом удаления диоксинов и фуранов является сорбционная очистка на ГАУ.

6.7. Очистка от радиоактивных ионов

Источниками загрязнения поверхностных вод являются радиоактивные сточные воды, а также осадки, выпадающие из атмосферы после инцидентов с ядерными установками и устройствами. Также возможно естественное повышенное содержание радиоактивных изотопов (уран, плутоний, торий, стронций, цезий и др.).

В определенных пределах удаление радиоактивных ионов происходит при обработке коагулянтами, с применением флокулянтов.

Наиболее простыми и универсальными специфическими методами удаления радиоактивных ионов являются:

- адсорбция на сорбентах природного происхождения (перлиты, цеолиты, диатомит, доломиты, полубожеженные доломиты (магномасса) и др.). Они могут применяться как в виде порошков, так и в виде гранулированной загрузки фильтров. Сорбционная способность этих материалов различна применительно к различным изотопам;

- обменная сорбция на катионитных ионообменных смолах при пропускании через соответствующие фильтры.

6.8. Очистка от соединений азота

Природные воды загрязнены соединениями азота в результате сброса недостаточно очищенных сточных вод. В зависимости от свежести фекального загрязнения и кислородного режима водоисточника могут быть представлены аммонийным азотом, азотом нитритов, азотом нитратов.

Существует ряд методов удаления соединений азота, ориентированных на индивидуальное водоснабжение из загрязненных грунтовых вод. Большинство этих методов не подходят для решения данной задачи в коммунальном водоснабжении (обратный осмос, электродиализ) и здесь не рассматриваются.

Технологии удаления соединений азота

Технология	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
6.8.1. Адсорбция на цеолите и его разновидностях	При пропускании воды через цеолитовый фильтр происходит ионообменная сорбция аммонийного азота в обмен на ион натрия. Регенерация загрузки проводится раствором хлористого натрия в щелочной среде	Простой метод, может обеспечить достижение ПДК	Нецелесообразно применять при высокой загрязненности воды азотом.
6.8.2. Биохимическое удаление азота	В биореакторе с загрузкой, разделенном на несколько зон, производится аэробное биохимическое окисление аммонийного азота (нитрификация), а затем аноксидное восстановление азота нитратов и нитритов до атмосферного азота (денитрификация). Этот процесс осуществляется с добавлением органического субстрата пищевого качества, например, уксусной кислоты)	Простой метод, хорошо отработанный для очистки сточных вод. Эффективно удаляет практически любые концентрации всех соединений азота. По нитратам и нитритам гарантирует ПДК, по аммонийному азоту желательна доочистка на цеолитах	Эффективность резко снижается при температуре воды ниже 10 оС. Требуется стартовый период для запуска биореактора (наращивания необходимой микрофлоры). Требуется точность дозирования органического субстрата по потребности

7. Кондиционирование воды

7.1. Дегазация

Удаляемый газ	Решаемая задача
7.1. Удаление сероводорода	Обеспечение ПДК, устранение неприятного запаха и коррозионных свойств воды, предотвращение размножения серобактерий в трубопроводах, которое может привести к их забиванию
7.2. Удаление метана	Устранение неприятного запаха и риска возгораний и взрывов при накоплении газа
7.3. Удаление диоксида углерода	Снижение агрессивности (коррозионности) воды относительно металлических труб и арматуры. Составная часть Стабилизационной обработки воды (см. раздел ...)
4. Удаление кислорода	Снижение коррозионности воды относительно металлических труб и арматуры, подготовка к использованию в теплоснабжении и на ТЭС. В водоснабжении не применяется

7.1.1. Удаление сероводорода

Сероводород очень жестко нормируется в питьевой воде – на уровне 0,003 мг/л. В подземных водах его содержание может достигать 20 мг/л.

Задача удаления сероводорода часто решается одновременно с задачей удаления железа и/или марганца.

Основные методы удаления сероводорода

Методы	Краткое описание	Применимость	Преимущества/ Недостатки
7.1.1.1. Физический	Отдувка на пленочном (с принудительной подачей воздуха), либо вакуумном дегазаторе. Эффективность повышается при подкислении, т.к. этим методом удаляется только та часть сероводорода, которая представлена H_2S (частично HS^-). Полное удаление H_2S азириванием/ вакуумированием возможно лишь при подкислении воды до $pH < 5$.	При концентрациях до 3 мг/л	Простой, но энергоемкий метод. Эффективность не более 70% Сопряжен с загрязнением атмосферного воздуха
7.1.1.2. Химический окислительный	Обработка воды окислителями: озон, перекись водорода, перманганат калия, хлор. Процессы эффективнее при подкислении. В зависимости от вида и количества окислителей, сероводород окисляется до тиосульфатов и сульфатов (растворенные вещества) и серы и сульфидов (взвешенные вещества, должны быть отделены коагуляцией и фильтрованием). В отечественной практике наиболее распространен метод очистки воды от сероводорода хлором (5 мг хлора/мг H_2S) Расход озона составляет 0,5-1 мг /мг H_2S	При концентрациях до 10 мг/л	Высокая эффективность. Окисление других соединений. Существенное потребление реагентов, а также в большинстве случаев, кислоты, наличие дополнительного реагентного хозяйства. Для перманганата калия – риск передозировки
7.1.1.3. Химический окислительно-восстановительный	Окисление взвесью гидроксида железа (III) и двуокиси марганца. После использования они могут быть регенерированы продувкой воздухом и использованы в следующем		Высокая эффективность. Сниженное потребление реагентов. Нет рисков передозировки

	цикле.		
7.1.1.4.Химико-каталитический	Модифицированные загрузки («черный» (омарганцеванный) песок, «зеленый песок» и др.), применяемые для обезжелезивания и деманганации, также эффективны и как контактная среда для окисления сероводорода кислородом воздуха, вводимого перед фильтром. Есть технология непрерывной подачи перманганата калия на модифицированные загрузки. Параметры и результаты процесса полностью определяются типом загрузки	При концентрациях до 10 мг/л	Технологичный комплексный метод. Однако, загрузки имеют высокую стоимость
7.1.1.5.Сорбционный	Для устранения неприятного запаха после аэрирования, хлорирования и биоудаления производится фильтрование через активный уголь (ГАУ).	При концентрациях до 3 мг/л	Простой метод, не требующий регулирования. Снижается расход реагентов-окислителей при использовании вместе с химическим методом Недостаток - высокая стоимость АУ, практическая невозможность регенерации
7.1.1.6.Ионообменный	Обработка на анионите		
7.1.1.7.Биологический	Потребление сероводорода серобактериями в биореакторах различных типов (азротенк-отстойник, либо затопленный биофильтр). По физиологическим условиям наиболее подходят бактерии-микроаэрофилы, развивающиеся в широком диапазоне рН при концентрациях кислорода в биореакторе не более 0,3 мг/л	Нет ограничений	Гибкий саморегулирующийся универсальный метод. Невысокие энергозатраты. Не требует других затрат. Однако требует времени обработки до 1-2 часов (при концентрации свыше 10 мг/л). Также необходимо присутствие в воде биогенных веществ, фосфора, калия, ряда микроэлементов

7.1.2. Удаление метана

Концентрация метана в подземной воде может превышать 50 мг/л.

Основные методы удаления метана

Методы	Краткое описание	Применимость	Преимущества/ Недостатки
7.1.2.1.Физический	Вакуумная дегазация. Вода предварительно насыщается смесью воздуха и углекислого газа и подается на закрытый пленочный дегазатор, откуда эжекционным способом производится дегазация. В контуре дегазации циркулирует вода с высокой концентрации хлорида натрия, что препятствует растворению в ней метана, а также углекислого газа.	При любых концентрациях	Простой метод. Требуется углекислота.
7.1.2.2. Биологический	Потребление метана метанооксиляющими бактериями в аэробном затопленном биореакторе с прикрепленной микрофлорой. После биореактора необходимо отделение взвеси фильтрацией, с возможным применением реагентов	При любых концентрациях	Безреагентный метод. Недостатки: Существенное энергопотребление на аэрацию. Существенно замедляется при температуре ниже 5оС. Необходимо отделение взвеси (прироста биомассы)

7.2. Стабилизационная обработка

Само по себе содержание диоксида углерода, угольной кислоты и ее анионов в воде не нормируется. Однако, при избыточном содержании свободной углекислоты вода обладает агрессивностью к материалу труб и арматуры.

При недостатке угольной кислоты и избытке гидрокарбонатов вода обладает склонностью к выделению карбонатных отложений в трубопроводах.

Нормализация концентраций углекислоты и бикарбонатов на уровне равновесных называется стабилизацией воды.

При избытке свободной углекислоты ее содержание снижают, при избытке - увеличивают.

При обработке, снижающей уровень CO₂ вначале применяют повышенную дозу, щелочных реагентов, которая приводит к формированию на стенках трубопроводов защитной карбонатной пленки, затем дозу снижают до равновесного состояния воды.

Основные методы стабилизационной обработки

Методы	Краткое описание	Применимость	Преимущества/ Недостатки
7.2.1. Снижение содержания CO₂			
7.2.1.1. Реагентное подщелачивание	При добавлении щелочного реагента (извести, едкого натра, соды) происходит связывание агрессивной CO ₂ с образованием бикарбоната		Потребление реагентов, необходимость точного дозирования
7.2.1.2. Фильтрационное подщелачивание	При фильтровании воды через загрузку из мраморной крошки или магномассы (обоженный доломит или магнезит) CO ₂ связывается с образованием бикарбонатов магния и кальция	При низкой жесткости, малом содержании железа	Саморегулирующийся метод. Сфера применения ограничена небольшой производительностью
7.2.1.3. Аэрационный	Отдувка CO ₂ в пленочном дегазаторе (градирне)	Применяется в сочетании с умягчением, обессоливанием и обезжелезиванием	
7.2.2. Повышение содержания CO₂			
7.2.2.1. Подкисление	При добавлении серной или соляной кислот происходит разложение части бикарбонатов и образование свободной углекислоты	При жесткости менее 6 мг-экв/л	Потребление реагентов, необходимость точного дозирования. Практически безальтернативный метод для питьевого водоснабжения

7.3. Умягчение воды

Процессы извлечения из воды так называемых солей жесткости называют умягчением воды.

Чаще всего жесткость, требующая процедуры умягчения воды, связана с катионами кальция, реже – магния. Фактически, все катионы, будучи двухвалентными, оказывают влияние на жесткость. Они вступают в реакцию с анионами, в результате образуются соли жесткости, которые могут выпадать в осадок. Такое свойство отсутствует у одновалентных катионов.

Различают

- постоянную жесткость (некарбонатная) – возникает из-за наличия магниевых и кальциевых солей сильных кислот (азотной, соляной, серной), она не исчезает во время кипячения воды;
- временную жесткость (карбонатная) характеризуется присутствием в воде карбонатов и гидрокарбонатов магния и кальция при pH больше 8.3. Когда вода закипает, такая жесткость нейтрализуется практически полностью, именно по этой причине ее называют временной. При повышении температуры воды гидрокарбонаты разрушаются, при этом выделяется угольная кислота, а в осадок выпадает гидроксид магния и карбонат кальция.

Сумма постоянной и временной жесткости - общая жесткость

По нормам оптимальная жесткость питьевой воды составляет 1,0–2,0 мг-экв/л, жесткость воды для теплотехнического использования - 0,03–0,05 мг-экв/л

Основные методы удаления солей жесткости

Методы	Краткое описание	Область применения	Преимущества/ Недостатки
7.3.1. Реагентное умягчение воды	Добавление реагентов, образующих труднорастворимые соединения CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, выпадающие в осадок и удаляемые из воды отстаиванием и фильтрованием	Неглубоко умягчение при одновременном осветлении. Применение различных реагентов позволяет обрабатывать любые типы вод	Потребность в реагентах
7.3.2. Термическое умягчение	Вода нагревается до температуры выше 100 °C (до 270 °C). При этом удаляется не только карбонатная, но и частично некарбонатная жесткость (в виде гипса)	Карбонатная жесткость с преобладанием биакрилатов, некарбонатная в виде растворенного гипса	Сложный метод, неприменим в ВКХ
7.3.3. Ионный обмен	При обработке на сильнокислотных катионообменных смолах ионы кальция и магния обмениваются на катионы смолы	Глубокое умягчение предварительно обработанной воды (преимущественно для теплоэнергетики)	Достигается очень глубокое умягчение. Образуется до 30% промывных вод
7.3.4. Наночистка	Мембранная обработка с использованием мембран с определенным размером пор обеспечивается их селективность к многозарядным и крупным ионам. Размеры и конструкция рулонных элементов и установок для наночистки и обратного осмоса идентичны. Рабочее давление находится в пределах 7–16 атм	Как заключительная стадия комплексной технологической схемы	Снижение не только жесткости воды, но и щелочности, солености, а также удаление механических, органических и биологических загрязнений воды при отсутствии необходимости использования реагентов и проблем с солевыми стоками при относительно простой схеме. Недостатком

			нанофильтрации является меньшая возможная глубина умягчения воды, необходимость более тщательной подготовки воды, чем при ионном обмене, существенное энергопотребление
7.3.5. Электрохимическое умягчение	Технология включает электрохимическую коррекцию pH и электрофлотационное отделение твердой фазы	Комплексная очистка небольших расходов воды. Наряду с умягчением происходит очистка воды от органических и биологических загрязнений.	Достигается низкая жесткость - ниже 0,1 мг-экв/л. Компактная безреагентная система. Существенное потребление электроэнергии (2–3 кВт-ч/м ³). Повышенные меры предосторожности в связи с выделением водорода и кислорода. Инновационный метод

7.3.1. Реагентное умягчение воды

Умягчение воды методом осаждения содержащихся в ней растворимых солей заключается в создании условий, при которых образуются труднорастворимые соединения CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Как правило, для осаждения взвеси гидроксидов проводят коагуляцию воды сульфатом железа (II). Для отделения взвеси используют различные конструкции отстойников и осветлителей и фильтры. Новые технологические решения (тонкослойное отстаивание, контактная коагуляция, ввод флокулянтов – см. раздел) позволяют достигнуть тех же показателей **умягчения воды** при меньших расходе реагентов, габаритах установок и их полной автоматизации.

Повышение температуры до 70–80 °С позволяет довести остаточную жесткость до 0,35–1,0 мг-экв/л. Того же результата можно достигнуть увеличением доз реагентов.

Разновидности реагентного умягчения

Методы	Краткое описание	Область применения	Преимущества/Недостатки
7.3.1.1. Известковый	Добавление гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Применим для частичного удаления карбонатной жесткости при высокой карбонатной и низкой некарбонатной жесткости воды, когда требуется одновременное снижение жесткости и щелочности. Обычно используется совместно с ионообменным умягчением воды.	
7.3.1.2. Известково-содовый	Добавление углекислого натрия (кальцинированная сода) Na_2CO_3 и извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Для удаления карбонатной и некарбонатной жесткости	Можно умягчить воду только до жесткости 1,4–1,8 мг - экв/л

7.3.1.3. Содо-натриевый	Добавление соды Na_2CO_3 и едкого натра NaOH	Применим когда карбонатная жесткость больше некарбонатной	Высокая стоимость едкого натра и повышение коррозионности воды из-за выделения свободной углекислоты
7.3.1.4. Фосфатный	Добавление тринатрийфосфата Na_3PO_4	Используется для доумягчения после известково-содового метода	Высокая стоимость реагентов, для теплотехнического применения

7.3.5. Электрохимическое умягчение воды

Электрохимический метод умягчения воды является относительно новым. Ранее он предлагался для переработки солевых отходов, включая регенераты установок умягчения, для их последующего повторного использования.

После предварительного отстаивания вода подается в катодную камеру электрокорректора, отделенную от анодной камеры анионообменной. При пропускании постоянного тока в катодной камере pH поднимается до 10–11, а в анодной опускается до 3–4. В катодной камере происходит образование частиц гидроксидов и карбонатов смешанного состава. Вода со взвесями поступает на разделение в электрофлотатор, где в результате электролиза воды происходит выделение водорода и кислорода, которые поднимаясь флотируют частицы взвесей, органики, эмульсии, образуя пенный слой – флотшлам, который удаляется специальным устройством. После осветления умягченная вода подается в анодную камеру электрокорректора, где происходит ее нейтрализация до pH, близкого к исходной воде.

7.4. Обезжелезивание воды

В природной воде, особенно в воде подземных источников, в больших количествах в растворенном виде содержится железо. Норма его содержания в питьевой воде составляет по СанПиН 2.1.4.1074-01 0,3 мг/л для железа, что обуславливает необходимость его удаления (обезжелезивание).

Железо находится в воде в следующих формах:

- двухвалентное – растворенное в виде ионов Fe^{2+} ;
- трехвалентное (хотя хлориды и сульфаты Fe^{3+} хорошо растворимы в воде, ионы Fe^{3+} полностью гидролизуются в нерастворимый гидроксид $Fe(OH)_3$, который находится в виде взвеси или осадка);
- органическое железо (находится в виде различных растворимых комплексов с природными органическими кислотами (гуматов), имея, как правило, коллоидную структуру);
- бактериальное железо – продукт жизнедеятельности железобактерий (железо находится в их оболочке).

Методы обезжелезивания зависят от формы железа

1. В поверхностных водах железо уже окислено до трехвалентного состояния и, кроме того, входит в состав органических комплексов и железобактерий.

Если в воде присутствует только трехвалентное железо в виде взвеси, то его удаление осуществляется как обычная взвесь (см. раздел ..)

2. В подземных водах присутствует, в основном, растворенное двухвалентное железо в виде ионов Fe^{2+} . Трехвалентное железо появляется только после контакта такой воды с воздухом и в изношенных системах водораспределения при контакте воды с поверхностью труб.

Часто воды с повышенным содержанием железа также содержат марганец. Его удаление, будучи похожим по механизму на обезжелезивание, но обладает существенными отличиями (см. раздел 7.5).

Основные методы обезжелезивания воды

Методы	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
7.4.1. Окислительные	Химическое или биохимическое окисление двухвалентного железа, с последующим образованием нерастворимого гидроксида железа и его отделением от воды	Наиболее универсальная группа методов	Различны для методов, входящих в группу
7.4.2. Сорбция при		Удаление железа	Сфера применения

коагуляции		происходит одновременно с очисткой от взвеси	ограничена поверхностными водами.
7.4.3. Ионообменные	Ионообменное поглощение ионов железа катионитной загрузкой	Удаление железа происходит одновременно с умягчением	Сфера применения ограничена водоподготовкой для теплоэнергетики, при невысоком содержании железа

Основное, наиболее универсальное направление обезжелезивания - группа окислительных методов.

7.4.1. Окислительные методы

Основные окислительные методы обезжелезивания воды

Методы	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
7.4.1.1. Окисление кислородом воздуха	Окисление двухвалентного железа осуществляется кислородом воздуха	Воздух – бесплатный реагент, затрат требует только насыщение им воды	Различны для методов, входящих в группу
7.4.1.2. Реагентное окисление	Окисление двухвалентного железа осуществляется сильными окислителями – хлором или хлорпроизводными, либо перманганатом калия	Высокая эффективность, позволяющая удалять трудноокисляемые формы железа. При использовании хлора, как правило, не требуется дополнительное хлорное хозяйство, т.к. он используется и на стадии обеззараживания.	Затраты на реагенты, в особенности, высокая стоимость перманганата калия
7.4.1.3. Окислительная фильтрация на модифицированной загрузке	Для фильтрования используются загрузки с каталитическими свойствами, как правило, на основе диоксида марганца. Процесс основан на окислении/восстановлении марганца. Для регенерации используются реагенты-окислители. Для снижения их расхода может использоваться предварительная аэрация	Высокоэффективный компактный процесс. Большинство загрузок удаляют также марганец и сероводород	Высокая стоимость модифицированных загрузок. Затраты на реагенты-окислители для регенерации

В литературе существует разделение окислительных методов на реагентные и безреагентные. При этом под реагентными методами подразумевают как использование

некислородных окислителей, так и извести для подщелачивания воды, с целью повышения скорости и глубины окисления кислородом.

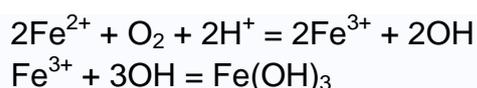
7.4.1.1. Окисление кислородом воздуха

Основные методы обезжелезивания с окислением двухвалентного железа кислородом воздуха

Методы	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
7.4.1.1.1. Аэрационные методы	Окисление двухвалентного железа осуществляется кислородом воздуха с использованием преимущественно, либо только химических процессов	Более простая технология	Различны для методов, входящих в группу
7.4.1.1.2. Биохимическое обезжелезивание	Окисление двухвалентного железа осуществляется кислородом воздуха в результате биохимических процессов, производимых железобактериями	Эффективный способ, удаляется также марганец и сероводород	Более сложная технология
7.4.1.1.3. Подземное (внутрипластовое) обезжелезивание	Окисление двухвалентного железа осуществляется как по химическому, так и биохимическому механизму кислородом воздуха, растворенном в воде, закачиваемой в подземный пласт	Надземные сооружения водоподготовки минимальны. Не образуются промывные воды	Усложняется система скважин. Срок эксплуатации пластов этим методом хоть и длителен, но конечен, с их кольматацией продуктами окисления железа.

7.4.1.1.1. Аэрационные методы

Во всех процессах с аэрацией кислород воздуха окисляет двухвалентное железо. Для эффективного протекания этого процесса важно поднять pH воды. Этому способствует отдувка углекислоты в процессе аэрации. Увеличение pH ускоряет процесс окисления двухвалентного железа и последующий гидролиз с образованием гидроксида железа.



Технология может быть реализована как без дополнительной корректировки pH, за счет только эффекта отдувки, так и с дополнительным подщелачиванием известкованием (см. раздел 7.2), с последующим отстаиванием.

Вместо извести возможно применение соды Na_2CO_3 , тогда не будет образовываться осадок и не потребуются осветление, но затраты на реагенты будут значительно большими.

Однако, и стоимость извести надлежащего качества существенно повышает стоимость эксплуатации станций обезжелезивания с известкованием воды.

Выбор аэрационных устройств должен производиться в результате технико-экономического сравнения вариантов, с учетом взаимосвязи того, что чем совершенней аэратор, тем меньше будет расход извести на нейтрализацию растворенного диоксида углерода при использовании реагентного подщелачивания.

Аэрационные методы отличаются как по способу насыщения воды кислородом, так и по протеканию процесса окисления двухвалентного железа и отделения полученного гидроксида трехвалентного железа

Способы насыщения воды кислородом при обезжелезивании

Методы	Краткое описание	Область применения	Преимущества	Недостатки
7.4.1.1.1. Сухая аэрация	Вода аэрируется, стекая по незатопленной загрузке, в которую нагнетается воздух. В загрузке также происходит окисление и задержание железа	Содержание железа общего до 5 мг/л	Метод прост в эксплуатации: не требуется промывка фильтра. Минимальный период «зарядки», высокая грязеемкость, гибкость в отношении pH	Ограниченный диапазон удаляемого железа
7.4.1.1.2. Насыщение сжатым воздухом	Воздух подается компрессором перед фильтром	Содержание железа общего до 5 мг/л	Компактное оборудование	Ограниченный диапазон удаляемого железа. повышенные энергозатраты на аэрацию
7.4.1.1.3. Упрощенная аэрация	Вода аэрируется при стекании струями с небольшой высоты	Содержание железа общего до 5 мг/л	Наиболее простой метод	Ограничение по форме наличия железа, щелочности. Малоэффективен при наличии органики и аммонийного азота
7.4.1.1.4. Усиленная аэрация	Аэрация при стекании с большой высоты, пневматической аэрации, разбрызгивании, либо за счет вакуума	Содержание железа общего до 30 мг/л	Наиболее гибкий по исходному качеству метод, удаление сероводорода в больших концентрациях	
7.4.1.1.5. Насыщение под давлением (перед напорной флотацией)	Воздух подается либо эжектором во всасывающую линию насоса, либо компрессором. Применяется только с флотационным разделением	Содержание железа общего до 15 мг/л	Компактный процесс. Достигаются высокие концентрации кислорода	Используются емкости под давлением.

Процесс окисления кислородом, растворенным в воде и отделения выделенного гидроксида трехвалентного железа может производиться в самых разнообразных аппаратах, многие из которых совместимы с различными методами растворения кислорода в воде

Методы отделения от воды гидроксида трехвалентного железа

Методы	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
А. Одноступенчатое безнапорное фильтрование	Вода после аэрации фильтруется через безнапорный фильтр с обычной загрузкой	Простая схема	Короткий фильтроцикл, большой объем промывных вод
Б. Двухступенчатое безнапорное фильтрование	Первый по ходу фильтр работает как контактный осветлитель, с загрузкой большой грязеемкости, второй фильтр –обычный	Удаление железа до 20 мг/л. Уменьшение числа промывок и объема промывной воды	Усложнение схемы
В. Напорное фильтрование на зернистых фильтрах	Вода после аэрации фильтруется через напорный фильтр с обычной загрузкой	Более высокая растворимость кислорода в воде под давлением и больший его избыток в реакции окисления железа (при насыщении сжатым воздухом). Более качественное заводское исполнение. Компактное оборудование	Более высокая стоимость фильтра
Г. Осветление с последующим фильтрованием	Обработанная воздухом вода подвергается тонкослойному отстаиванию, либо проходит через осветлитель со взвешенным слоем, с возможным предварительным добавлением извести, затем проходит через обычные фильтры	Эффективное отделение большей части образовавшегося осадка, многократное уменьшение нагрузки на фильтр	Усложнение схемы
Д. Фильтрование на патронных фильтрах	Фильтрование происходит через намывной слой, образованный на каркасе – керамическом фильтре	Компактный и эффективный процесс отделения	Ограниченная производительность
Е. Напорная флотация	Предварительно насыщенная воздухом (п. 1.1.1.5) жидкость подается во флотатор. В результате сброса давления образуются пузырьки воздуха, флотирующие вверх частицы гидроксида железа. Как правило, добавляется известь	Используется емкостное оборудование. Нет промывной воды. Компактное оборудование	Используется оборудование под давлением. Повышенные энергозатраты. Нет основы для формирования каталитического слоя оксидов железа

Ниже описаны наиболее часто встречающиеся сочетания приемов аэрации и последующего окисления железа и отделения взвеси.

7.4.1.1.1.1. Метод «сухого» фильтрования

Метод сухой фильтрации заключается в фильтровании воздушно-водной эмульсии через незатопленную загрузку. Для реализации этого метода подают большое количество воздуха и обеспечивают тонкое распыление воды с отсосом воздуха из поддонного пространства фильтра. В таком потоке воды и воздуха обеспечивается насыщение воды кислородом и глубокое удаление из нее двуокиси углерода. В результате усиливаются процессы окисления, гидролиза и адсорбции соединений железа на поверхности загрузки. В загрузке образуется менее влажный, чем при других способах очистки воды, кристаллический осадок окиси железа. Такие фильтры не промывают, а загрузку в них меняют один раз в год или реже. Водовоздушное отношение в эмульсии, подаваемой в фильтр, принимают в пределах от 2 : 1 до 3 : 1, скорость фильтрования от 4 до 12 м/ч.

В качестве загрузки обычно используются песок, керамзит, антрацит, ПВХ и др.

Весь процесс реализуется в одном сооружении и, к тому же, не требует промывки.

Недостатком является необходимость замены непромываемой загрузки.

Метод сухой фильтрации применим при содержании железа в исходной воде до 5-6 мг/л

7.4.1.1.1.3. Упрощенная аэрация

Метод упрощенной аэрации основан на способности воды, содержащей железо (II) и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен. Окисление ионов двухвалентного железа и задержании образующихся соединений происходит в толще загрузки фильтра.

Эффективность фильтрации на традиционных загрузках весьма низка, поскольку процесс окисления и формирования хлопьев достаточно длителен. Однако, такие материалы начинают эффективно работать после наращивания на их частицах слоев каталитической пленки, работающей как катализатор дальнейшего окисления («зарядка фильтра»). Каталитическая пленка из ионов и оксидов двух- и трехвалентного железа активно интенсифицирует процессы гидролиза гидроксидов двухвалентного железа, его окисления и выделения железа из воды в виде трехвалентного гидроксида. Есть также мнения, что кроме каталитического, важную роль играет биокаталитический процесс (железобактерии – см. ниже).

Упрощенная аэрация осуществляется посредством излива воды с небольшой высоты в карман или центральный канал фильтра или вдуванием воздуха в обрабатываемую воду. Фильтрация при очистке воды производится обычно сверху вниз.

А. Одноступенчатое безнапорное фильтрование

В качестве загрузки в одноступенчатых фильтрах используется кварцевый песок, дробленые горные породы и другие материалы. Для загрузки следует применять тяжелые материалы, так как, только в этом случае, удастся обеспечить разделение в восходящем потоке промывной жидкости хлопьев железа от зерен загрузки.

Загрузка фильтра может быть:

- обычной для процессов фильтрации,
- крупнозернистой (5-10 мм).

К достоинствам метода упрощенной аэрации с фильтрованием относятся простота обслуживания, технологическая надежность, низкая себестоимость очистки, безреагентная обработка воды.

Однако использование этого метода затруднено при повышенных концентрациях железа в исходной воде или наличии его органических соединений, при низких щелочности и pH воды, при присутствии сероводорода, а также в случаях одновременного присутствия ионов двухвалентного марганца. Кроме того одноступенчатая схема обезжелезивания воды имеет низкую санитарную надежность. Со временем толщина пленки соединений железа на поверхности зерен загрузки увеличивается, начинается ее растрескивание и вынос мелких обломков железа в очищенную воду. Качество очищенной воды ухудшается и содержание железа в ней не удается снизить ниже 1-1,5 мг/л. Загрузку приходится менять. При плохой промывке фильтров в толще загрузки образуются конгломераты соединений железа, достигающие размера в диаметре до 10 - 15 мг/л, объем загрузки увеличивается, она как бы вспухает. Без перегрузки фильтра в этом случае обойтись трудно. Все эти недостатки особенно проявляются при высоком, 5 мг/л и более, содержании железа в воде. Фильтры в настоящее время оборудуются, как правило, системой водовоздушной промывки, обеспечивающей более глубокое удаление загрязнений из загрузки.

Метод рекомендуется применять при следующем качестве подземных вод: общее содержание железа не более 10 мг/л; содержание двухвалентного железа не менее 70 %; щелочность не менее $(1+[Fe^{2+}]/28)$ мг-экв/л; содержание сероводорода не более 2 мг/л; pH не менее 6.8

При содержании железа в воде в виде сульфата $FeSO_4$ аэрация воды не позволяет провести ее обезжелезивание.

Б. Двухступенчатое безнапорное фильтрование

Общее техническое описание

Аэрационно обработанная вода поступает на фильтры первой ступени, по конструкции аналогичных контактными осветлителям (см. раздел). Движение воды в фильтре направлено снизу-вверх. Далее частично очищенная вода поступает на фильтр второй ступени. Первым, по ходу движения воды, применяется фильтр с восходящим движением воды, в котором используются принцип фильтрации воды в направлении убывающей крупности зерен загрузки. Этим достигается повышение грязеемкости фильтра при равных потерях напора. В качестве второго используется обычный скорый фильтр.

Достигается более надежное обезжелезивание при содержании железа в пределах 10 - 15 мг/л.

Схема более сложная по сравнению с одноступенчатой.

Метод применим при pH не менее 6.3 - 6.4.

В. Напорное фильтрование на зернистых фильтрах

Упрощенная аэрация может производиться также и в напорных фильтрах. В этом случае вода аэрируется в напорном смесителе в трубопровод перед которым подается воздух от компрессора

При содержании железа до 5 мг/л применяют одну ступень фильтрования, более 5 мг/л - две. В двух ступенчатых схемах первый фильтр обычно называют контактным, второй осветлительным, хотя процесс обезжелезивания протекает на обеих ступенях.

В напорных фильтрах, по сравнению с открытыми, обеспечивается более высокая степень очистки воды от железа. Это объясняется более высоким давлением вводимого в фильтры воздуха. Поскольку растворимость газов пропорциональна их давлению над поверхностью жидкости, достигается более высокая растворимость кислорода в воде и больший его избыток в реакции окисления железа.

Напорные фильтры, по сравнению с открытыми, быстрее монтируются и имеют более качественное исполнение, так как изготавливаются в заводских условиях.

Метод применим при производительности до 5000 м³ /сут).

Д. Фильтрование на патронных фильтрах

Разновидность напорной фильтрации, с использованием не объемной, а плоскостной фильтрации.

Образовавшийся после аэрационной обработки гидроксид трехвалентного железа в нижней части аппарата намывается на керамический патрон.

На патронных фильтрах сначала происходит фильтрование с постепенным закупориванием пор фильтрующей перегородки. Такое фильтрование заканчивается по достижении определенного соотношения объема твердых частиц, задержанных в порах, к объему самих пор. Затем начинается фильтрование с образованием первоначального слоя осадка, и на этом заканчивается процесс зарядки фильтров и начинается фильтрование с целью обезжелезивания воды.

Нарастающий на патроне слой гидроксида железа служит контактным материалом для новых постоянно намываемых веществ, а сам патрон выполняет функцию только опорного каркаса для фильтрующего слоя гидроксида железа.

Метод .фильтрования на каркасных фильтрах применим для обезжелезивания воды на установках производительностью до 1000 м³ /сут.

7.4.1.1.1.4. Удаление железа с усиленной аэрацией

Усиленная аэрация способствует десорбции газов из воды, тем самым повышается ее рН и ускоряется процесс окисления и гидролиза железа. После аэрации вода сразу, до образования хлопьев гидрооксида железа подается на фильтры.

Аэрация может производиться (по усилению эффекта):

- с помощью брызгальных установок (в брызгальных бассейнах, либо над фильтрами)

- в вентиляторных градирнях,

- в акуумно- эжекционных декарбонизаторах (ВЭД)

Наибольшие возможности по десорбции газов – у аппаратов ВЭД. В них вакуум образуется за счет создания струи с большой скоростью, благодаря вакууму организуется подсос воздуха и образование водовоздушной эмульсии. По этой причине происходит насыщение воды воздухом, удаление растворенной углекислоты и повышение рН, следовательно создаются благоприятные условия для очистки воды от железа. Метод реализован при концентрациях железа до 7 мг/л и требует больших затрат энергии, так как потери напора в ВЭД велики.

Метод применим при значениях рН ниже 6,8 а также при больших концентрациях двуокиси углерода или сероводорода

7.4.1.1.2. Биологическое обезжелезивание

Железобактерии относятся к автолитотрофным аэробным микроорганизмам, то есть энергию для жизни они получают за счет окисления неорганических веществ (двухвалентного железа и двухвалентного марганца) кислородом. Железобактерии развиваются в обычных фильтрах во всех технологиях с аэрацией. При активном протекании биологических процессов эффективность удаления железа в течение фильтроцикла увеличивается, но по предельным потерям напора фильтр приходится выводить на промывку. При промывке удаляется и часть наиболее активной биомассы железобактерий и в начале следующего фильтроцикла качество фильтрата заметно снижается. Таким образом, совмещение в одном сооружении (фильтре) двух совершенно разных процессов (биологического окисления и механического фильтрования) не может быть решено оптимальным образом без ущерба одному из них.

В основу процессов, использующих железобактерии, положена двухступенчатая схема, предусматривающая усиленную аэрацию-дегазацию исходной воды, окисление железа в биореакторе с прикрепленной микрофлорой и последующее фильтрование на фильтрах.

После биореактора целесообразно отделять избыточную биопленку и другие продукты процесса биоокисления отстаиванием, что существенно снижает нагрузку на фильтры и увеличивает продолжительность фильтроцикла.

Метод позволяет устойчиво и эффективно удалять не только железо, но и марганец (до 1 мг/л), а также сероводород

Как все автотрофные организмы, железобактерии имеют низкий коэффициент прироста биомассы, что требует определенного времени для выхода биореактора на расчетную эффективность.

7.4.1.1.3. Окислительное обезжелезивание подземных вод в водоносном пласте

В основу технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод заложена возможность искусственного создания в водоносном пласте на участках водозаборных скважин гидрогеохимических зон, резко отличающихся по окислительно-восстановительным условиям от природных. В естественных условиях в водоносном пласте фиксируется восстановительная бескислородная обстановка: Eh изменяется от -30 mV до 80 mV, рН составляет 5.8 - 6.5, содержание CO₂ достигает 200 - 240 мг/л. При искусственном насыщении подземных вод кислородом и при удалении из них аэрацией

сероводорода H_2S и избыточных концентраций растворенной двуокиси углерода CO_2 , на участках водозаборных скважин происходит изменение состояния среды внутри водоносного горизонта с восстановительной на окислительную. Eh увеличивается до 250 - 500 mV, pH повышается до 7,0 и более. В простейшем случае питательная вода представляет собой обезжелезленную подземную воду, насыщенную кислородом. Если же в подземной воде присутствуют трудноокисляемые формы железа и простой аэрацией питательной воды не удастся их удалить, то для интенсификации процесса могут быть использованы окислительные реагенты.

На поверхности зерен водоносных пород образуется каталитическая пленка, аналогичная образующейся в скорых фильтрах. Большое влияние на процесс оказывают железобактерии *Leptothrix* и *Gallionella*, которые осуществляют биологическое окисление железа. В результате в водоносном пласте формируются "зоны осаждения", в пределах которой происходит интенсивное окисление железа и марганца. Такая зона создается закачкой в пласт через скважины или другие устройства обезжелезненной воды, насыщенной кислородом. В результате смешения питательной воды с подземной, достигается смещение процессов окисления - восстановления в сторону окисления. По этой причине железо окисляется, подвергается гидролизу и выпадает в осадок в толще пород. С течением времени, в результате истощения кислорода в адсорбционном слое, в отбираемой воде возрастает содержание железа. Процесс "зарядки" пласта кислородом повторяется.

В зависимости от условий процесс закачки воды может осуществляться как через специальные питательные, так и непосредственно через эксплуатационные скважины. И в том и в другом случае установки рассчитаны на периодическую работу с чередованием циклов закачки в пласт питательной воды и отбора обезжелезненной грунтовой воды. Поэтому для обеспечения непрерывной подачи потребителю обезжелезненной воды несколько установок объединяются в систему. В период закачки в пласт питательной воды происходит "зарядка" зоны пласта вокруг скважин, для чего требуется определенное время, за которое произойдет сорбция кислорода на поверхности частиц пород пласта, в достаточном количестве в нем размножатся железо- и марганецпоглощающие бактерии и поверхность зерен пород или стенки трещин покроются каталитической пленкой из соединений железа и марганца.

Подготовка или зарядка водоносного пласта включает многократное повторение циклов подачи аэрированной воды в водоносный слой и откачки воды из скважины. В период эксплуатации водозаборных скважин поддерживается динамическое равновесие (соблюдением циклов откачки воды из скважины и насыщения кислородом зоны очистки воды) таким образом, чтобы содержание железа и марганца в откачиваемой из скважины воде не превышало нормативного значения. Отжившие свой срок, бактерии заполняют осадком гидроокислов железа и марганца поровое пространство (немобильные поры) водоносного горизонта. Расчетное время водоотбора подземных вод без уменьшения гидродинамических параметров водоносного пласта составляет 200-700 лет в зависимости от концентрации этих компонентов в подземных водах.

Использование технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте по сравнению с традиционными поверхностными установками во многих случаях экономически предпочтительнее. Капитальные вложения на сооружение установок

обезжелезивания в пласте зачастую меньше по сравнению с поверхностными станциями обезжелезивания, а эксплуатационные расходы не превышают 15% от затрат на стандартных поверхностных станциях обезжелезивания.

Отсутствуют проблемы с обработкой промывных вод фильтров, количество которых может достигать 15- 20% от полезной производительности станции обработки воды выполненной по традиционной схеме (либо экологические проблемы, связанные с их сбросом без очистки).

Существенно усложняется конструкция скважин и их эксплуатация

Возможно снижение концентраций железа в откачиваемой воде с 15 – 30 мг/л до 0,04 - 0,20 мг/л, а марганца - с 1,0 - 1,5 мг/л до 0,06 -0,1 мг/л.

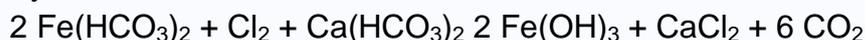
7.4.1.2. Реагентное окисление

Кислород воздуха является слабым окислителем, поэтому при присутствии трудноокисляемых форм железа или наличия в воде органических соединений применяют более эффективные реагенты-окислители: хлор Cl₂, озон O₃, перманганат калия KMnO₄.

7.4.1.2.1. Обработка хлором и хлорпроизводными

Под действием хлора происходит разрушение гуматов и других органических соединений железа и переход их в форму неорганических солей трехвалентного железа, которые легко гидролизуются.

Чаще всего в качестве окислителя применяется хлор, реакция окисления железа в этом случае имеет вид



При хлорировании, аэрацию воды обычно не проводят. Теоретический расход хлора составляет 0,64 мг на 1 мг Fe²⁺. В действительности доза может быть в 2 - 5 раз выше, она зависит от pH, времени контакта, наличия в воде других окисляемых веществ и других факторов.

Процесс обезжелезивания воды хлорированием проводят фильтрованием в открытых или напорных фильтрах, аналогично упрощенной аэрации, но вместо воздуха перед фильтрами вводят хлор.

Продолжительность контакта воды с окислителем составляет 15 - 45 мин, скорость фильтрования 5 - 7 м/ч. Кроме жидкого хлора возможно также применение гипохлорита натрия NaOCl

При вводе избытка хлора, перед резервуаром чистой воды требуется подача нейтрализующих хлор веществ: бисульфита натрия Na₂SO₃ или сернистого газа SO₂.

Обработка хлором эффективна там, где не срабатывают аэрационные методы. Однако, технология и эксплуатация существенно усложняются.

7.4.1.2.2. Обработка воды перманганатом калия

Метод окисления двухвалентного железа используется путем введения в исходную воду перед фильтрами раствора перманганата калия KMnO₄ (см. раздел). Последний

может также вводиться в сочетании с гипохлоритом натрия с целью обработки сложных вод и экономии перманганата калия – достаточно дорогостоящего окислителя.

Недостаток – высокая стоимость реагента.

7.4.2.3. Обработка воды озоном

Один из перспективных методов окисления железа – озонирование. Озон – один из самых сильных окислителей. Подробно озонирование описано в разделе 9.2.

Преимущества и недостатки

Одновременно с обеззараживанием идут процессы окисления двухвалентных железа и марганца, обесцвечивание воды, а также ее дезодорация и улучшение органолептических свойств. Не образуются хлорпроизводные, по сравнению с использованием хлора.

Недостаток – высокая стоимость озонаторов и существенные энергозатраты.

7.4.1.3. Окисление на модифицированных загрузках

Модифицированные загрузки – природные материалы, содержащие диоксид марганца или загрузки, в которые диоксид марганца введен при соответствующей обработке: дробленый пиролюзит, «черный песок», «зеленый песок», сульфуголь и ряд брендовых наименований загрузок.

Механизм действия данных загрузок 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 (хлором, перманганатом калия) до высших оксидов растворенным кислородом и перманганатом калия. Впоследствии большая часть окисленного и задержанного на фильтрующем материале железа вымывается в дренаж при обратной промывке. Таким образом, слой гранулированной загрузки служит одновременно и фильтрующей средой. Возможно сочетание окислительно-восстановительной способности загрузки и каталитического действия, либо только последнее. Типы модифицированных загрузок активно совершенствуются производителями.

Схожий эффект может быть достигнут омарганцеванием фильтрующей загрузки из глауконитового песка или других материалов путем попеременной обработки загрузки растворами сульфата марганца и перманганата калия. Поверхность зерен загрузки приобретает черный цвет, а загрузку обычно называют "черным" песком. Практически этот же процесс достигается омарганцеванием фильтрующей загрузки из глауконитового песка или других материалов путем попеременной обработки загрузки растворами сульфата марганца и перманганата калия. Поверхность зерен загрузки приобретает черный цвет, а загрузку обычно называют "черным" песком. Обменная способность этого материала по отношению к железу и марганцу составляет около 1500 г/м³. Этот способ

имеет крайне ограниченное применение и возможен в случае содержания железа и марганца не более 1 мг/л.

Модифицированные загрузки могут использовать как самостоятельно, так и после аэрации (в зависимости от вида загрузки).

Очень важным для технологии является состав модификатора-катализатора. Точная его формула и метод нанесения не раскрывается фирмой- производителем. Различные загрузки существенно отличаются по своим свойствам, эффективности, методам (и необходимости) регенерации. По сути, сколько специальных загрузок – столько и технологий.

Некоторые загрузки могут работать в режиме постоянной регенерацией, с подачей в них некоторых концентраций хлора.

Ряд загрузок способен работать и при низких значениях рН, что невозможно для некатализованных процессов.

Эффективный, высокотехнологичный процесс. Способен одновременно, кроме железа, удалять сероводород, мышьяк, радий.

Недостатком для крупномасштабного применения является высокая стоимость загрузок.

Фильтрация с применением каталитических загрузок – наиболее распространенный метод удаления железа и марганца, применяемый в компактных системах водоподготовки. Это обусловлено как коммерческим интересом продавца реализовать дорогостоящую загрузку аспектами, так и эффективностью и универсальностью метода.

7.4.2. Удаление коагулянтами

7.4.2.1. При реагентной коагуляции

Железо, находящееся в воде в виде коллоидов, тонкодисперсных взвесей и комплексных органических соединений, удаляется обработкой воды коагулянтами (сульфатом алюминия, хлоридами железа (III) либо смешанным коагулянтом). Для разрушения комплексных органических соединений железа воду обрабатывают хлором, озоном или перманганатом калия. Применение железных коагулянтов обеспечивает более полное удаление железа из воды благодаря интенсивной адсорбции ионов железа на хлопьях $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Оптимум адсорбции ионов железа как в случае применения алюминиевых, так и железных коагулянтов лежит в интервале значений рН воды 5,7—7,5. Технологическая схема обезжелезивания воды методом коагулирования включает реагентное хозяйство, смесители, осветлители воды и фильтры.

Обезжелезивание поверхностных вод производят одновременно с осветлением и обесцвечиванием.

7.4.2.2. Обезжелезивание электрокоагуляцией

Детальное описание электрокоагуляции – см раздел 4.2.

Продолжительность пребывания воды в электрокоагуляторе зависит от качества воды и требуемого эффекта очистки и составляет не менее 30–40 минут. Степень очистки интенсивно возрастает в интервале значений рН от 5 до 8. Влияние температуры воды на обезжелезивание при повышении до +20 С малосущественно.

Технологическая схема установки включает помимо электрокоагулятора отстойник и фильтр либо фильтр большой грязеемкости.

Дозы растворяющегося металлического алюминия при обезжелезивании определяются экспериментально, но ориентировочно могут приниматься равными 75–100 % от содержания железа в исходной воде. Достижимый эффект очистки высок и может составить 90–95 %.

При электрокоагуляции эффект обезжелезивания выше, чем при обработке воды коагулянтами, так как наряду с генерацией гидроокиси алюминия проходят окислительные процессы на анодах и в межэлектродном пространстве, особенно в присутствии соединений хлора.

Обезжелезивание электрокоагуляцией может производиться одновременно с осветлением и обесцвечиванием воды, так как какого-либо отрицательного влияния цветности на процесс обезжелезивания не обнаружено, а в присутствии тонкодисперсных суспензий он интенсифицируется, поскольку появляются дополнительные центры хлопьеобразования.

В сочетании с аэрацией как комплексный метод может применяться и для подземных вод.

Электрокоагуляция наиболее целесообразна только при необходимости комплексной очистки воды и удаления из нее как соединений железа, так и других загрязнений (взвешенных и органических веществ, водорослей, нерастворимых частиц и др).

7.4.3. Удаление железа катионированием

Этот процесс возможен только при присутствии их в истинно растворенном состоянии, то есть в ионной форме. В качестве загрузки фильтров предпочтительны синтетические катиониты КУ-2, Амберлайт и другие. Для этих катионитов возможно частичное восстановление обменной емкости отмывкой зерен загрузки от оксидов железа трилоном Б, ортофосфорной, щавелевой или лимонной кислотой.

Позволяет одновременно производить удаление железа и ионов жесткости (умягчение). Недостатком является высокая стоимость реагентов для регенерации от оксидов железа.

Подземная вода до поступления на фильтры не должна иметь контакта с воздухом, так как при реакции с кислородом, образуются нерастворимые соединения железа и марганца, отлагающиеся на поверхности зерен катионита, что приводит к снижению его обменной емкости и даже полной потери работоспособности.

Метод целесообразен только при необходимости одновременного умягчения воды (как правило, для теплоэнергетических целей). Допускаются концентрации железа и марганца не более 1 мг/л.

Выбор конкретного метода удаления железа (или их комбинации) в большой степени зависит от исходного содержания и формы растворенного железа, температуры, щелочности и рН обрабатываемой воды, требуемой производительности установки и конкретных условий ее эксплуатации.

7.5. Деманганація (удаление марганца)

Норма СанПиН 2.1.4.1074-01 для марганца 0,1 мг/л. Повышенное содержание марганца характерно для подземных вод и практически всегда сочетается с повышенным содержанием железа. Также марганец может наблюдаться и в поверхностных водах, как правило, вследствие их загрязнения промышленными сточными водами. При наличии в поверхностных водах гумусовых соединений марганец присутствует в виде труднорастворимых органических комплексов.

Основные принципы удаления марганца близки к обезжелезиванию (окисление от растворенной формы до нерастворимой, с последующей фильтрацией) с очень большим отличием: марганец окисляется в зоне более высоких значений pH и окислительно-восстановительного потенциалов. Оптимальной величиной для окисления бикарбоната марганца кислородом является pH = 10. Более низкие значения pH могут поддерживаться только при применении более энергичных окислителей (хлора, озона и др.) с большим избытком их в реакции.

На действующих станциях обезжелезивания, использующих технологию аэрации с последующим фильтрованием, из воды удаляется только железо. При применении сильных окислителей, марганец окисляется и сорбируется только после железа, так как железо является более легко окисляемым элементом. Поэтому совместная очистка железа и марганца в одной ступени фильтрационных сооружений возможна только при их малой концентрации, до 2 - 5 мг/л, и применении сильных окислителей.

Большинство методов деманганації аналогично обезжелезиванию. Применимы практически все окислительные методы, описанные в разделе 7.3, за исключением метода упрощенной аэрации. Аэрационные и реагентные методы при этом отличаются более высокой применяемой pH.

Основные методы удаления марганца

Методы	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
7.5.1. Аэрационный с подщелачиванием,	Химическое окисление двухвалентного марганца в условиях высокого значения pH, с последующим образованием нерастворимого гидроксида марганца (IV), с последующим отстаиванием и фильтрацией	Обеспечивает также умягчение, если в это время есть необходимость	Высокий расход извести, с необходимостью последующего подкисления
7.5.2. Окислительный реагентный	Окисление марганца сильными окислителями (хлор, диоксид хлора, озон, перманганат калия) с последующим отстаиванием (при необходимости) и фильтрацией. Требуется подщелачивание до 8-8,5, величина pH зависит от вида реагента	Высокая эффективность, При использовании хлора, как правило, не требуется дополнительное хлорное хозяйство, т.к. он используется и на стадии обеззараживания.	Затраты на реагенты, в особенности, высокая стоимость перманганата калия. Также требуется тщательный контроль его остаточного содержания. Необходимо проводить процесс в две стадии, с первоначальным окислением и выделением железа

7.5.3. Фильтрация через загрузки, обладающее каталитическими свойствами к окислению марганца	Аэрация с последующим фильтрованием через пиролюзит. Окисление двухвалентного марганца осуществляется с использованием высших окислов марганца	Используется при меньших значениях pH. Совместное удаление железа и марганца	Высокая стоимость загрузки
7.5.3а. Фильтрация через загрузки, модифицированные перманганатом калия	Аэрированная вода пропускается через модифицированную загрузку, где происходит каталитическое окисление	Используется при меньших значениях pH. Совместное удаление железа и марганца	Значительный расход перманганата калия для модификации загрузки
7.5.4. Коагуляция с подщелачиванием	Коагуляционная обработка сернокислым железом с подщелачиванием известью до 9,5-10, с последующим отстаиванием и фильтрацией	Совмещается с основным процессом обработки поверхностных вод	Применим только для поверхностных вод
7.5.5. Сорбционный	Ввод ПАУ перед отстойниками или фильтрами. Адсорбционная емкость активного угля составляет до 5 мг Mn на 1 г адсорбента	Простой метод	Высокая стоимость ПАУ
7.5.6. Удаление в подземном пласте	Окисление двухвалентного марганца (и железа) внутри пласта осуществляется железом и марганецбактериями кислородом воздуха, растворенном в воде, закачиваемой в подземный пласт	Наземные сооружения водоподготовки минимальны. Не образуются промывные воды	Усложняется система скважин. Срок эксплуатации пластов этим методом хоть и длителен, но конечен, с их кольматацией продуктами окисления марганца и железа. Применим при невысоком содержании марганца (до 0,5 мг/л) и высоком pH. Не всегда эффективен
7.5.7. Биохимическое удаление	Окисление на загрузке в биореакторе двухвалентного марганца в аэробном биохимическом процессе, производимых марганецбактериями. Окислы марганца в отмершей биомассе также катализируют химическое окисление кислородом	Безреагентный метод (за исключением подщелачивания, которое может понадобиться)	Необходимо предварительно удалить железо. Сложная технология

Дополнительная информация

7.5.2. Реагентное окисление

Скорость процесса окисления двухвалентного марганца реагентами-окислителями из ряда хлор, диоксид хлора ClO_2 , гипохлорит натрия, озон в значительной мере зависит от величины pH исходной воды.

7.5. 2.1. Перманганатное окисление

Доза KMnO_4 составляет 1.9 мг на 1 мг удаляемого Mn^{2+} . В действительности доза может превышать теоретическую в 1 - 6 раз. При присутствии железа в исходной воде, целесообразно для экономии окислителя применять аэрацию, в этом случае легко окисляемое железо Fe^{2+} будет окисляться кислородом воздуха. Применение KMnO_4 особенно эффективно для воды с повышенным содержанием органических комплексов железа и марганца. Обработка воды перманганатом калия разрушает органические комплексы, окисляет железо и марганец, создает коагулирующую взвесь. Далее вода, в зависимости от концентрации загрязнений, подвергается фильтрованию или отстаиванию с фильтрованием. Перед отстойниками необходимо дозирование коагулянта и флокулянта.

При очистке воды с применением перманганатом калия только от марганца, возможно отказаться от аэрации и проводить процесс на одной или двух ступенях фильтров. В процессе очистки воды от марганца фильтрующая загрузка покрывается пленкой соединения марганца (созревание фильтра), играющей роль катализатора.

Применение перманганата калия для обезжелезивания и деманганации подземных вод не нашло в России широкого применения из-за высокой цены KMnO_4 . Кроме того, его применение требует надежного лабораторно- производственного контроля, так как снижение и превышение дозы реагента приводит к проскоку марганца в фильтрованную воду.

7.5.2.2. Окисление хлором и хлорпроизводными

Очистка подземных вод от марганца хлорированием применяется достаточно часто. В России для этой цели наиболее часто используется жидкий хлор. Поэтому при хлорировании необходимо повышать pH воды до 8 - 9. Требуемая доза реагента для окисления Mn^{2+} до $\text{Mn}(\text{OH})_4$ по стехиометрии составляет 1,3 мг на каждый мг растворенного двухвалентного марганца. Фактические дозы значительно выше.

Гипохлориты натрия и кальция для хлорирования воды применяют при небольших расходах воды, так как, в отличие от хлора, они значительно дороже. Диоксид хлора - сильный и эффективный окислитель, однако, его применение требует строительства дополнительных сложных в эксплуатации установок, в России для целей очистки воды он практически не применяется.

7.5.2.3. Окисление озоном

Наиболее эффективный способ. Достигается экономия окислителя, если он применяется после проведения аэрации воды. Для предварительной аэрации экономично использование отходящего воздуха из камеры контакта озона с обрабатываемой водой. Весьма эффективно применение озона для обработки воды, содержащей марганец и органические загрязнения. При озонировании удаляется и железо, но железо дешевле удалять на первой ступени очистки воды аэрационными методами.

Обработка воды озоном значительно эффективнее хлора. Процесс окисления марганца завершается в течение 10-15 минут при величине pH 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 до 2-4 мг/мг $[\text{Mn}^{2+}]$.

7.5.3а. Использование «черного песка»

При омарганцевании фильтрующей загрузки из глауконитового песка или других материалов путем попеременной обработки загрузки растворами сульфата марганца и перманганата калия поверхность зерен загрузки приобретает черный цвет, а загрузку обычно называют "черным" песком. Активная пленка на поверхности "черного" песка содержит около 70 % двуокиси марганца, а также другие окислы марганца. Окисление двухвалентного марганца растворенным в воде кислородом осуществляется путем автокаталитической реакции, в ходе которой кислород адсорбированный на катализаторе Mn_3O_4 окисляет железо и марганец окисляются в соответствующие гидроокиси. Обменная способность этого материала по отношению к железу и марганцу составляет около 1500 г/м³.

7.6. Удаление кремния

Предельно допустимая концентрация (ПДК) кремния в питьевой воде по нормативу СанПиН 2.1.4.1074-01 составляет 10,0 мг/л, в то время как количество кремния в подземных водах может достигать 30-50 мг/л

Решение вопроса обескремнивания имеет ряд сложностей:

1. Разнообразие форм нахождения кремния в питьевой воде и как следствие невозможность без предварительных исследований выбрать эффективный метод очистки воды для конкретного водоисточника.

2. Взаимное негативное влияние кремния и железа. Кремний взаимодействует только с трехвалентным (окисленным) железом. В присутствии соединений кремния в природной воде в процессе обезжелезивания происходит образование устойчивых железосиликатов, которые, обладая коллоидной растворимостью, не извлекаются из воды при фильтровании или отстаивании. При концентрациях кремния более ПДК в обрабатываемой воде происходит блокировка активной поверхности адсорбционной пленки, что замедляет процесс обезжелезивания. Таким образом, стандартные схемы водоподготовки при наличии высокого содержания кремния в воде приводят к ухудшению процессов обезжелезивания и обескремнивания.

Основные методы удаления кремния

Методы	Краткое описание	Область применения	Преимущества/Недостатки
7.6.1. Реагентные	Осаждение кремния в виде нерастворимых соединений, либо сорбция на хлопьях гидроксида железа или алюминия		
7.6.1.1. Известкование	Осаждение в виде силиката кальция, с подогревом до 40-80 оС	Для относительно неглубокого снижения высоких концентраций кремнекислоты (с 20 до 6-8 мг/л).	Сложное реагентное хозяйство, большое количество осадков. Большое потребление тепла
7.6.1.2. Коагулирование	Сорбция на хлопьях гидроксида железа или алюминия, при подогреве воды до 35-40 оС и рециркуляции осадка	Для водоподготовки котельной воды	Очень высокий расход реагентов Большое потребление тепла
7.6.1.3. Осаждение гидроокисью магния	Осаждение в виде силиката магния при температуре 35-40 оС	Универсальный метод	Обеспечивает глубокое снижение. Гидроокись магния – более дорогостоящий реагент
7.6.1.4. Сорбция на магнезиальных сорбентах	Поглощение сорбционной загрузки, изготовленной из активированной окиси алюминия и бокситов. Фильтр регенерируется	Универсальный метод	Эффективный технологичный метод. Срок службы загрузки – 6-8 мес. Не расходуется тепло. Из реагентов требуется только щелочь

	щелочью		
7.6.2.Анионитное удаление	Ионообменная обработка с использованием сильноосновных анионитов	Для водоподготовки котельной воды	Эффективный метод глубокого удаления. Большое количество промывных вод.
7.6.3.Электрохимическое удаление	Сорбция на хлопьях гидроксида алюминия, образующегося в результате электрохимического растворения анодов	Для питьевой воды	Эффективное удаление до 4-5 мг/л Состав воды практически не оказывает воздействия на эффективность

7.7. Фторирование и обезфторивание воды

Оптимальное содержание фтора в воде составляет 0,7-1,5 мг/л.

При недостатке фторирования осуществляют путем добавления соответствующих реагентов: кремнефтористый натрий (самый распространенный) или аммоний, фтористый натрий, кремнефтористоводородная кислота. Используется стандартное реагентное хозяйство (см. раздел 4.2).

При избыточном содержании решают задачу его удаления. Применяемые в других отраслях методы осаждения фторид-ионов в виде осадков малорастворимых фторидов для обезфторивания питьевой воды не могут быть применены, так как растворимость наименее растворимых фторидов во много раз превышает допустимую концентрацию фторид-ионов в питьевой воде.

Для дефторирования воды используют ряд методов, которые можно объединить в две группы.

Метод адсорбции фтора свежеприготовленными осадками 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.

Метод фильтрования воды через фторселективные материалы основан на обменной адсорбции ионов, при которой фтор удаляется в процессе пропуска обрабатываемой воды через сорбент. Этот метод наиболее эффективен при обезфторивании подземных вод, как правило, не нуждающихся в других видах кондиционирования.

Основные методы обезфторивания

Методы	Краткое описание	Применимость	Преимущества/ Недостатки
7.7.1.Ионообменная адсорбция на фторселективных зернистых материалах			
7.7.1.1.На активированном (сульфатом алюминия) оксиде алюминия	При фильтровании обрабатываемой воды через зернистый активированный оксид алюминия происходит поглощение фтора сорбентом. Он действует как аннонит, обменивающий ионы SO ₄ на ионы F. Регенерация сорбента производится пропуском через него раствора едкого натра или сульфата алюминия. В процессе регенерации из сорбента вытесняется поглощенный им фтор. После регенерации сорбент отмывается водой для удаления продуктов регенерации и не прореагировавшего реагента. Сорбционная способность активированного оксида алюминия может быть повышена применением	В процессе обезфторивания воды в результате ионного обмена происходит увеличение концентрации в фильтрате сульфатных ионов, что необходимо учитывать	Не привносит взвесей в воду, что делает метод одним из оптимальных для подземных вод.

	для регенерации сорбента вместо раствора едкого натра раствора сульфата алюминия.		
7.7.1.2. На алюмомодифицированном клиноптилолите	При алюмомодификации катионы в клиноптилолите, который является природным катионообменником, на катионы алюминия из раствора – модификатора. При последующем фильтровании очищаемой воды через алюмомодифицированный материал алюминий взаимодействует с анионами воды (сульфаты, гидроксил, фториды) Извлечение фтора осуществляется за счет ионообмена и образования алюмофторидных комплексов, которые адсорбируются клиноптилолитом Сорбционная емкость 0,5-1 мг фтора на 1 г сорбента		Используется крупнотоннажный природный минерал
7.7.1.3. Сорбция на гидроксилпатите	При фильтрации через гранулированный гид-роксилпатит с крупностью зерен 1—3 мм ионы OH замещаются в процессе анионного обмена ионами F из воды с образованием малорастворимого фторпатита. Регенерация производится сначала гидроксидом натрия, а затем угольной кислотой		Используется крупнотоннажный природный минерал
7.7.1.4. Сорбция магнийоксихлоридными и магнийсиликатными сорбентами	Рабочая обменная емкость магнийоксихлорида составляет 0,9 мг F/g сорбента. Однако обменная емкость сорбентов при регенерации полностью не восстанавливается. Сорбент по истечении его сорбционной емкости необходимо заменять свежим		Однократное применение магнийсодержащих сорбентов неэкономично, что ограничивает широкое применение данного метода в технологии очистки воды
7.7.2. Сорбция на свежеприготовленных осадках			
7.7.2.1. Сорбция гидроксидом магния	Вода смешивается с известковым молоком и направляется в осветлитель перед которым (недостатке магния в исходной воде) вводится раствор хлорида или сульфата магния. В щелочной среде он образует взвешенную контактную среду гидроксида магния. Осадок гидроксида магния отводится. Для снижения содержания фтора в воде на 1 мг требуется 30-60 мг магния.		Сорбция фторидов протекает быстро и практически не зависит от температуры. Невысокий расход реагента (соли магния). Один из оптимальных методов
7.7.2.2. Контактносорбционный метод (сорбция гидроксидом алюминия)	Коагулянт вводят в воду перед контактными осветлителями. В ходе «зарядки» осветлителя повышенной дозой коагулянта на зернах и в порах	приемлемо при обработке вод, содержащих фтор -- до 5 мг/л,	Большой расход сульфата алюминия, кислоты и извести (при необходимости). Требуется

	загрузки образуется гидроксид алюминия, который впоследствии сорбирует фтор. После "зарядки" дозу коагулянта снижают, что обеспечивают эффективное извлечение фтора за счет сохранения сорбционной способности гидроксида алюминия. При pH 4,3 ..5,0. При таких значениях расход сульфата алюминия на 1 мг удаленного фтора составляет 25- 30 мг/л	сероводород -- до 2 мг/л, щелочность -- до 6 мг-экв/л.	точное дозирования реагентов. В целом дорогостоящий метод.
7.7.2.3. Электрокоагуляция	При электролизе в воду с анода переходят катионы алюминия, возникающий гидроксид алюминия адсорбируют фтор. Расход металлического алюминия при предварительном подкислении воды до pH 6,5 составляет около 12 г на каждый 1 г удаляемого фтора, расход кислоты -- 0,2 л/м ³ .		
7.7.2.4. Сорбция осадком трикальцийфосфата	Для получения трикальций фосфата в смеситель вначале вводят известь, а затем раствор ортофосфорной кислоты. Затем воду подают в осветлитель со слоем взвешенным слоем. После осветлителя мелкие хлопья трикальцийфосфата задерживаются на фильтре. Расход 30 мг/мг фторид-иона		Большой расход трикальцийфосфата. В целом дорогостоящий метод.
7.7.3. Мембранные методы			
7.7.3.1. Обратный осмос	Применяются любые конструкции обратноосмотический (гиперфильтрационных) мембран	Вместе с удалением других катионов и анионов	Дорогостоящий метод

7.8. Обессоливание (опреснение)

Применительно к питьевой воды следует говорить об опреснении (неполном обессоливании), т.е. доведении концентрации до величины ниже 1000 мг/л.

Технология опреснения	Описание	Преимущества	Недостатки
7.8.1. Ионнообменное	На ионитных полимерных смолах происходит обмен ионов, определяющий минеральный состав, на ионы водорода и гидроксидов, а также анионы угольной кислоты. По исчерпанию емкости проводится регенерация.	Технически относительно несложный метод. Не используются высокие давления. Не меняется температура. Малые затраты электроэнергии	Вода, поступающая на ионитовые фильтры, не должна иметь примесей. Применимость метода ограничена примерно 2 г соледержания/л. Необходимо создание и эксплуатация кислотно-щелочного реагентного хозяйства
7.8.2. Электродиализ	Электродиализ относится к электрообменным процессам и сочетает в себе черты как электрохимического, так и мембранного процессов. Перенос ионов электролита через пару селективных мембран происходит под действием постоянного электрического тока. Анионы и катионы в одном процессе проходят через различные соответствующие мембраны.	Процесс происходит при низких давлениях и температуре. Более широкая область экономичного применения – до 10 г/л.	Эффект «отравления» мембран и забивания их солями. Высокие эксплуатационные расходы (электроэнергия, мембраны и прокладки). Взрывоопасность.
7.8.3. Обратный осмос	Фильтрация под давлением растворов солей через полупроницаемые мембраны, пропускающие воду и задерживающие (полностью или частично) молекулы (ионы) растворенных веществ	Простой процесс, требует минимума реагентов, не требуются сложные электроустановки. Затраты на процесс в меньшей степени зависят от соледержания. Применим для морской воды и рассолов. Обеспечивает практически полное обеззараживание	Во избежание забивания мембран, вода должна быть глубоко очищена (мутность не более 0,3 мг/л, перманганатная окисляемость – не более 10 мг/л, практически полное отсутствие железа – не более 0,05 мг/л)

7.8.1. Ионнообменное опреснение

На ионитных полимерных смолах происходит обмен ионов, определяющий минеральный состав, на ионы водорода и гидроксидов, а также анионы угольной кислоты. Ионный обмен производится последовательно в Н-катионитовых и в анионитовых ионнообменных фильтрах. Регенерация катионитовых фильтров производится серной

кислотой, анионита – едким натром или карбонатом натрия. После обработки необходима дегазация для удаления избыточной углекислоты (см. раздел ..).

Технически относительно несложный метод. Не используются высокие давления. Не меняется температура. Малые затраты электроэнергии

Вода, поступающая на ионитовые фильтры, не должна иметь механических примесей и органических веществ. При перманганатной окисляемости свыше 7 мг/л необходима предварительная сорбционная очистка. Эксплуатационные затраты пропорциональны солесодержанию, что ограничивает применимость метода примерно 2 г солесодержания/л. Необходимо создание и эксплуатация кислотно-щелочного реагентного хозяйства

7.8.2. Электродиализ

Перенос ионов электролита через пару селективных мембран происходит под действием постоянного электрического тока. Анионы и катионы в одном процессе проходят через различные соответствующие мембраны. Электродиализаторы представляют собой системы наборов ячеек, состоящих из чередующихся дилуатной и рассольных камер, разделенных мембранами противоположной полярности. Для повышения эффективности установки и уменьшения количества стоков используют режимы работы с циркуляцией концентрата. Опресняемая вода поступает в четные камеры и параллельными потоками движется через них. С другой стороны этих камер выводится опресненная вода – дилуат. Через нечетные камеры циркулирует рассол извлеченных солей. Перед каждым электродом находятся приэлектродные камеры (первая и последняя нечетные камеры), где происходит нейтрализация анионов и водородных ионов, и катионов и гидроксил-ионов, соответственно, с образованием кислого анолита и щелочного католита.

В настоящее время для обессоливания воды используются многокамерные плоскорамные аппараты. Они представляют собой мембранный пакет, зажатый между пластинами, которые являются анодом и катодом, соответственно. Опресняемая вода поступает в четные камеры и параллельными потоками движется через них. С другой стороны этих камер выводится опресненная вода. Через нечетные камеры циркулирует рассол извлеченных солей. У анода и катода происходит разрядка анионов и гидроксил-ионов, катионов и водородных ионов, соответственно, с образованием кислого анолита и щелочного католита.

По структуре ионоселективные мембраны могут быть гомогенными или гетерогенными. Первые состоят только из ионообменных смол, тогда как вторые включают в себя инертный наполнитель, повышающий их механическую прочность. Также отдельно выделяют интерполимерные мембраны, которые отличаются от гетерогенных тем, что полимеры связующего и ионита в них не имеют химических связей, а соединяются путем переплетения макромолекул.

Также выделяют так называемые биполярные мембраны, представляющие собой тесно прилегающие друг к другу катионообменную и анионообменную мембраны. Такое

строение мембраны позволяет значительно ускорить процесс диссоциации молекул воды, так как H^+ и OH^- ионы отводятся из соединительного слоя под действием электрического поля в противоположные секции, а количество разложенной на ионы воды восполняется за счет диффузии недиссоциированных молекул к соединительному слою.

Другой важной классификацией является разделение ионоселективных мембран на слабо-, средне- и сильноосновные, если речь идет об анионообменной мембране, и на слабо-, средне- и сильнокислотные в случае катионообменных. Эта классификация зависит от способности к диссоциации ионогенных групп в составе мембраны.

Процесс происходит при низких давлениях и температуре. Энергозатраты и время обработки пропорциональны солености исходной воды.

Эффект «отравления» мембран: катионообменных – железом и марганцем, анионообменных – органическими веществами. Возможно выпадение в осадок на мембранах солей кальция и магния. Высокие эксплуатационные расходы (электроэнергия, мембраны и прокладки). Выделение водорода в приэлектродном пространстве определяет взрывоопасность

Область применения электродиализа ограничивается солесодержанием 0.5-10 г/л, так как при меньших концентрациях падает проводимость раствора и уменьшается эффективность использования электроэнергии, а при больших процесс становится экономически невыгоден вследствие существенного роста энергозатрат, так как затраченная электроэнергия пропорциональна количеству удаляемых ионов.

Обычный электродиализный аппарат способен обессолить воду до нескольких десятков мг/л и получить концентрат с содержанием солей до 35 г/л.

7.8.3. Обратный осмос

Используется исключительно на финишной стадии водоподготовки. При обработке поверхностных вод обратному осмосу предшествует классическая реагентная очистка, включая зернистые фильтры. При обработке подземных вод повышенной жесткости должно применяться умягчение (раздел 7.3).

Полнокомплектная установка обратного осмоса состоит из следующих основных частей:

- мембранные аппараты,
- насосы высокого давления
- блок химической промывки системы.

Главным элементом установок являются полупроницаемые мембраны.

Как таковой единой универсальной системы классификации обратноосмотических (ОО) мембран не существует, поэтому различные авторы и фирмы-производители предлагают разные системы классификации. Условно ОО-мембраны подразделяют:

- 1) по своей геометрической форме:
 - мембраны в виде пленок (листов),
 - мембраны в виде полых волокон;

2. По способу получения – на мембраны, полученные:

- путем формования из растворов и расплавов полимеров;
- путем образования полиэлектролитных комплексов в растворе или на подложке;
- путем нанесения или напыления активной матрицы на подложку;
- путем химической прививки активных групп к инертной матрице;
- путем травления и последующего вымывания растворенных компонентов;
- путем осаждения на подложке продуктов гидролиза солей многовалентных металлов, суспензий алюмосиликатов, растворов полиэлектролитов и др.;

3) По морфологии или структуре мембраны:

- пористые и непористые,
- симметричные и ассиметричные;
- с жестким каркасом и без него,
- изотропные, анизотропные, композитные (композиционные) и импрегнированные и пр.

4) По величине и знаку заряда:

- сильно- и слабо- заряженные,
- катионитовые (с отрицательным) и анионитовые (с положительным фиксированным зарядом).

Основными параметрами обратноосмотических мембран являются:

- Удельная производительность мембраны - количество очищенной воды, проходящей в единицу времени через единицу площади мембраны;
- Селективность определяется как процент растворенного вещества, задержанного мембраной;
- Солепроницаемость – это процентное отношение количества солей, не задержанных мембраной и «проникших» в процессе обратного осмоса в пермеат, к количеству солей в исходной воде;
- Солезадержание – это процентное отношение количества, растворенных солей, задержанных мембраной к количеству солей в исходной воде (100% минус солепроницаемость,%). Для однокомпонентного раствора солезадержание равно селективности;
- Степень отбора пермеата (выход пермеата) выражается в процентах и определяется отношением объема очищенной воды к объему входящей воды. Иногда используется величина степени отбора концентрата – отношение объема концентрата к объему входящей воды.

Из обратноосмотических мембран формируются обратноосмотические элементы (ОО-элементы). По типу применяемой мембраны ОО-элементы различаются на:

- плоские,
- *половолоконные,*
- *спирально-навитые.*

Высокая удельная поверхность модуля достигнута за счет использования очень малых диаметров волокон (обычно полые волокна имеют наружный диаметр 45 – 200 мкм и толщину стенки 10 – 50 мкм). Зазор между волокнами можно зафиксировать с помощью спиральной нити, навиваемой на волокна.

Очищаемая вода под давлением распределяется радиально внутри модуля с помощью пористого или перфорированного коллектора, проходящего по всей длине модуля. На наружной поверхности волокон исходная вода под давлением разделяется на концентрат (грязную воду) и очищенную воду (пермеат), который проходит через стенки волокон и скапливается в центральном канале (волокна), откуда она поступает на выход из волокон. Затем пермеат собирается пористым диском и выводится из модуля. Свободные концы волокон закреплены в непроницаемой пластине из эпоксидной смолы. Концентрат собирается в пространстве между наружными поверхностями волокон, проходит через пористую пластину и выводится через отверстие, расположенного входной торцевой пластине модуля, там же, где вход исходной воды.

Однако, ряд трудноустраняемых недостатков в работе половолоконных мембран стал той отправной точкой, которая позволила провести постепенное вытеснение с рынка ОО-элементов на их основе. Так, например, было выяснено, что для получения определенной удельной производительности к спирально-навитому модулю необходимо приложить давление на 50% меньше, чем к половолоконному. Высокая удельная поверхность мембран, в конечном счете, обусловлена малыми поперечными размерами каналов, по которым движется концентрат и в особенности пермеат. Это приводит к большой потере напора в этих каналах. Поэтому скорость течения вдоль этих каналов ограничена. В результате в аппаратах с полыми волокнами сильно выражены трудности, связанные с концентрационной поляризацией. Кроме того осадки на мембранах при их загрязнении и обрастании солями жесткости было трудно удалить из-за низких скоростей поперечного потока и относительно ограниченном рабочем диапазоне значений pH (4 – 11).

Однако производство половолоконных ОО-элементов в мире не исчезло полностью. Несколько фирм продолжают выпускать такие модули.

В конструкции с использованием спирально-навивных мембран на центральную трубу, по которой отводится фильтрат, навивается «сэндвич», состоящий из двух ОО-мембран, сеток-турбулизаторов и прокладки для сбора пермеата. Ключевым этапом изготовления спиральных рулонных мембранных модулей является послойная укладка мембран и прокладок вокруг перфорированной трубки отвода пермеата, прокатка и герметизация этой спиральной конструкции. Сжимающая нагрузка, возникающая во время прокатки, вызывает уплотнение спирали, и, как следствие, сжатие прокладки исходной воды и смежных с ней слоев. После прокатки на полученный цилиндр наносится внешнее покрытие из армированного стекловолокна и устанавливаются крышки. Вода, подлежащая деминерализации, протекает параллельно центральной трубе через щель, образованную сеткой-турбулизатором между двумя активными поверхностями мембран и продавливается через мембраны. Фильтрат (пермеат) собирается внутри пористого материала и по нему движется к центральной трубе. Концентрат) отводится через перфорацию в крышке.

С некоторых пор все фирмы-изготовители рулонных мембранных элементов пришли к единой системе конструктивных размеров, которые позволяют при необходимости заменить ОО-элемент, выпускаемый одной фирмой, на другой,

аналогичный по размерам и характеристикам. В соответствии с этой системой ОО-элементы для промышленного и полупромышленного применения выпускают с наружными диаметрами 2,5"; 4"; 8" и 16". Длина модулей варьируется.

ОО-элементы собираются в пакеты внутри специальных держателей (обратноосмотических модулей), обеспечивающих как герметизацию торцов ОО-элементов, так и их «работу». Держатели ОО-элементов, или как еще их называют *высоконапорные корпуса обратноосмотических мембран*, выпускаются под все размеры ОО-элементов 2,5"; 4"; 8" и 16" с различной длиной и в зависимости от количества размещаемых в корпусе мембран могут однопатронными и мультипатронными (по аналогии с фильтродержателями для микрофльтрации). Материалом для изготовления служит армированное стекловолокно или нержавеющая сталь. При работе давление обрабатываемой воды воспринимается только самим корпусом. Конструктивно держатель для ОО-элементов представляет собой полый цилиндр с рядом уплотнительных элементов и торцевыми крышками.

Первой стадией процесса обратного осмоса является тонкая очистка исходной воды от механических примесей. Обычно для этого используются фильтры патронного типа, размещаемые в однопатронных или мультипатронных фильтродержателях в зависимости от производительности ОО-установки. Механизм работы патронных фильтрующих элементов относится к микрофльтрации, а именно к глубинной и/или поверхностной фльтрации, т.е. механические примеси, задерживаемые фильтрующим элементом, накапливаются внутри слоя фильтрующей перегородки.

Вода, очищенная на патронных фильтрах, подается на насос высокого давления, назначением которого является достижение давления исходной среды расчетного давления для осуществления массообменных процессов, протекающих на полупроницаемых обратноосмотических мембранах. Подбор высоконапорного насоса производится исходя из его рабочей характеристики. При этом рабочая точка насоса должна находиться в диапазоне от 0,6 – 0,7 максимальной его производительности.

Несколько отдельных ОО-модулей, размещенных параллельно или последовательно по отношению друг к другу, образуют каскад.

Все отложения, образующиеся в обратноосмотическом модуле, как правило, делят на три большие группы, которые различают как по своему составу, структуре и размеру частиц осадка, так и по механизму образования отложений:

- осадки взвешенных, коллоидных частиц и микроорганизмов.
- осадки труднорастворимых соединений.
- отложения высокомолекулярных органических веществ.

Присутствующие в исходной воде взвешенные микрочастицы с размерами от 1 до 25 мкм, могут блокировать (закупоривать) каналы между пакетами мембран, а при высокой скорости движения вдоль поверхности мембраны могут оказать на нее своеобразное абразивное воздействие, т.е. способны механически повредить барьерный слой мембраны. Все это, как правило, приводит к необратимому повреждению мембранного элемента.

Микрочастицы более мелких размеров и коллоиды в совокупности с другими отложениями, относящимися, как правило, ко второй группе (о ней речь пойдет ниже), и микроорганизмами формируют на поверхности мембраны осадок, препятствующий ее нормальной работе.

Среди требований, предъявляемых производителями обратноосмотических мембран к питательной воде обратноосмотических установок, определяющими являются: содержание окислителей, диапазон значений pH, температура, коллоидный индекс (SDi), солесодержание. С точки зрения переработки обратноосмотического концентрата наиболее критичными оказались следующие параметры: значение SDi и pH.

Помимо проблемы с коллоидными отложениями могут возникнуть сложности, обусловленные кристаллизацией на поверхности обратноосмотических мембран малорастворимых солей. Карбонаты и сульфаты солей жесткости, гидроксиды, фосфаты и силикаты могут формировать отложения за счет превышения растворимости, возникающей как вследствие концентрационной поляризации, так и в результате смещения значения pH концентрата в щелочную область. Наличие солевых отложений на поверхности мембраны приводит к снижению производительности и ухудшению качества пермеата. Некоторые отложения невозможно удалить с поверхности мембраны, не повредив саму мембрану, что, тем самым, приводит к выходу мембранного элемента из строя.

Высокие расходы воды на собственные нужды систем обратного осмоса связаны с необходимостью работы обратноосмотических мембран в тангенциальном режиме. При обработке поверхностных и артезианских вод гидравлический КПД установок обратного осмоса составляет, как правило, 70-80 %, то есть 20 - 30 % подаваемой воды необходимо сбрасывать в виде концентрата. При увеличении гидравлического КПД из-за эффекта концентрационной поляризации и, как следствие, интенсификации процесса отложения солей на поверхности мембран снижается качество пермеата и возрастает частота проведения химических промывок.

Однако в целом ряде случаев при обработке поверхностных вод потребление воды на собственные нужды можно уменьшить с 20 - 30 % до 5 -10 %, применив повторную обработку концентрата на дополнительных обратноосмотических установках.

8. Обеззараживание

При водоподготовке поверхностных вод обеззараживание производят дважды: на начальной стадии для улучшения санитарного состояния сооружений и перед подачей воды в систему. Применительно к подземным водам при их хорошем санитарном состоянии обеззараживание проводят обычно в конце водоподготовки.

Опасные для человека водные патогенные организмы:

- вирусы,
- бактерии,
- простейшие (амебы, криптоспоридии, лямблии и т.п.). Эти организмы в основном должны задерживаться на стадии глубокой очистки от взвесей.

Для эффективной инаktivации бактерий и вирусов при любом методе обеззараживания необходимо предварительное глубокое обесцвечивание воды до цветности не более 10 град., осветление до 1 мг/л и отсутствие частиц взвеси с крупностью более 5 мкм.

Способы обеззараживания

Технология обеззараживания	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
8.1. Хлором и его соединениями	При добавлении в воду происходит окисление доступных органических веществ, в том числе мембран и внутренних структур патогенных организмов, приводящее к их гибели. Необходимо время контакта для прохождения процесса. Часто используется совместно с аммонизацией: - преаммонизация – для снижения содержания в воде ЛГОС, а также при наличии в воде бензола и фенола, - постаммонизация – для образования хлораминов, обеспечивающих более длительный эффект	Невысокая стоимость реагентов, отработанный процесс. Эффект последствие	Требования по технике безопасности (не ко всем реагентам). Образование ЛГОС (см. раздел ..). Ухудшение вкуса и запаха воды. Недостаточное воздействие на вирусы и простейшие организмы. Известно существование хлоррезистентной микрофлоры: хлорустойчивых форм E.coli, Pseudomonadaceae, Klebsiellae, Proteae, относящихся к условнопатогенным и патогенным микроорганизмам
8.2. УФ облучением	УФ лучи производят повреждения цепочек молекул ДНК и РНК бактерий и вирусов, приводящее к потере возможности размножения	Высокая эффективность воздействия в том числе на вирусы и патогенные простейшие. Компактное отработанное оборудование. Не оказывает воздействия на химический состав воды	Существенные затраты электроэнергии. Высокая стоимость обслуживания УФ-систем (ежегодная замена ламп, замена кварцевых чехлов каждые 3-5 лет) Отсутствие эффекта последствие (в обработанной воде нет

			препятствия для размножения неинaktivированных организмов. Наличие эффекта репарации (восстановления) клеток (существенно лишь в некоторых ситуациях).
8.3. Озонированием	Происходит окисление доступных органических веществ, в том числе мембран патогенных организмов, приводящее к их гибели	Озон – более сильный окислитель чем хлор, при этом не образует ЛГОС. Это позволяет использовать его не только как обеззараживающий реагент, но, прежде всего, для снижения цветности и окисления различных загрязнений, плохо удаляющихся реагентами	<p>Должен производиться на месте использования. Высокая стоимость оборудования. Существенные затраты электроэнергии.</p> <p>Низкая растворимость в воде</p> <p>Не обладает эффектом последействия по причине быстрого разложения озона.</p> <p>Требования к технике безопасности.</p> <p>Необходимо применения дополнительных песчаных и угольных фильтров для уничтожения остаточного содержания озона и (угольные фильтры) сорбции продуктов озонлиза.</p> <p>Формирует промежуточные продукты окисления, которые создают благоприятную питательную среду для бактерий. Высокая стоимость и сложная технология озоногенераторов при ведении кислородного процесса с поставкой/производством чистого кислорода. Высокая стоимость обслуживания и сложность в применении.</p>
8.4. Полимерными биоцидными реагентами	Полимерные гуанидиновые соединения (ПАГ), проникая внутрь клеток путем разрушения мембран, необратимо нарушают их	Низкие дозы (препарат не расходуется на окисление органических загрязнений, а только на разрушение	Недостаточно изучено токсикологическое влияние на человека. Существуют

	функционирование по ряду механизмов	клеток). ПАГи обладают высокой флокулирующей активностью. Не образует побочных продуктов	аргументированные мнения о более высокой токсичности, чем это декларируется производителями. Недостаточно изучено воздействие на вирусы. На рынке предлагаются различные комплексные препараты на основе ПАГ, что затрудняет их оценку и увеличивает токсикологические риски применения. Увеличение сопротивляемости микроорганизмов, снижение эффективности обработки при постоянном применении органических биоцидов и как следствие, необходимость увеличения концентрации последних.
--	-------------------------------------	--	--

В результате ускоренной эволюции микроорганизмов имеет место повышение устойчивости микрофлоры к воздействию хлора, озона и ультрафиолета. По данным микробиологов за последние 15-20 лет устойчивость патогенной микрофлоры к хлору повысилась в 5-6 раз, к озону в 2-3 раза, к ультрафиолету в 4 раза. А это означает, что с учетом дальнейшего повышения устойчивости микроорганизмов спор, вирусов и простейших к перечисленным выше методам обеззараживания воды и стоков необходимо при проектировании закладывать уровни воздействия с учетом динамики роста сопротивляемости объекта воздействия.

8.1. Обеззараживание хлором и его соединениями

Технология обеззараживания хлорреагентами	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
8.1.1. Жидким хлором	Жидкий хлор из резервуара переводится в газообразное состояние (в испарителях) и вводится в воду эжектированием газа.	Традиционный метод. Низкая стоимость хлора (хлор – побочный продукт производства едкого натра). Высокая эффективность в отношении бактерий.	Высокая потенциальная опасность обращения с хлор-газом: транспортировки, хранения, применения. Очень большие территории СЗЗ. Жесткие нормы промбезопасности и высокие затраты на их обеспечение. Проблемы с образованием ЛГОС
8.1.2. Гипохлоритом натрия (ГХН)	Получают электролизом из хлорида натрия.	Практически отсутствует токсикологический фактор	Постепенно разлагается при хранении, при этом имеют место

	<p>Дозируется товарный или свежеприготовленный раствор. Получают распространение получают установки приготовления ГХН на месте применения</p>	<p>пром. опасности.</p>	<p>постоянные газовыделения в ходе естественного разложения гипохлорита (также фактор пром. опасности - взрыва). Неэффективен против цист и споровых форм микроорганизмов, не в состоянии обеспечить удаление биопленок с поверхности трубопроводов. Существенно дороже жидкого хлора.</p>
8.1.3. Гипохлоритом кальция ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)	<p>Из твердого реагента приготавливают раствор, освещают его на фильтре и дозируют насосом-дозатором</p>	<p>Удобство хранения. Снижение активности не превышает 5% в год</p>	<p>Сложное реагентное хозяйство. Дезинфицирующая активность ниже, чем у хлора</p>
8.1.4. Диоксидом хлора	<p>Дозируются раствор диоксида хлора, производимый на месте (см. детально 1.4.)</p>	<p>Наиболее сильный реагент из хлорсодержащих. В отличие от хлора, диоксид хлора не гидролизует в воде, не реагирует с аммиаком, его активность не зависит от значения pH, и он применим в широком диапазоне pH. Активен в отношении вирусов и патогенных простейших. уничтожает спорообразующие бактерии, обладающие устойчивостью к воздействию хлора Продукты диоксида хлора не образуют органических соединений хлора с загрязнениями, находящимися в воде. Не образует тригалометанов. Не хлорирует, а окисляет фенолы. В отличие от хлора, он не реагирует с соединениями, включающими азот, аммиак, практически не реагирует с бромидами. Не создаются проблемы ЛГОС, улучшается вкус и запах воды. Пролонгированный (до 7-10 суток) бактерицидный эффект в водораспределительных системах, удаляет бактериальные пленки и предотвращает</p>	<p>Взрывоопасное вещество и не может перевозиться Должен производиться на месте использования. стоимость диоксида хлора выше, чем газообразного хлора или гипохлорита натрия. Приводит к образованию устойчивых побочных продуктов – хлорит-ионов (ПДК 0,2 мг/л)</p>

		возникновение новых. Требуемая дозировка значительно меньше чем хлора, таким образом, стоимость обработки воды этими реагентами близка.	
8.1.5. Комплексным реагентом диоксидом хлора и хлором	Дозируются раствор диоксида хлора, производимый на месте из хлорида и хлората натрия, поваренной соли и серной кислоты	Совместное использование хлора и диоксида хлора дает синергетический эффект (совместный эффект сильнее, чем сумма эффектов от применения средств по отдельности). Преимущества диоксида хлора сохраняются. По сравнению с «чистым» диоксидом хлора: - содержание хлорит-ионов в очищенной воде не превышает санитарных норм в сравнимых дозах по диоксиду хлора; - значительно меньшие капитальные и эксплуатационные затраты (не требуется доочистка от хлоритов, доступное сырье)	
8.1.6. Продуктами прямого электролиза воды	Прохождение электрического тока через обрабатываемую воду сопровождается рядом электрохимических реакций, в результате которых в воде из примесей хлоридов образуются хлорсодержащие окислители, в том числе гипохлорит натрия, хлор, озон, перекись водорода и др.	Не образует хлораминов и тригалометанов, обеспечивает пролонгированный эффект. Не требует соли для выработки гипохлорита (хлор производится из хлоридов самой воды), реагентного хозяйства (емкостей, насосов и т.п.) Окисляет растворенное в воде железо, преобразуя его в нерастворенное. Способствует удалению привкуса, цветности, мутности, сероводорода, аммония, уменьшает жесткость воды. Затраты электроэнергии составляют около 20 Вт на 1 м ³ воды	На электродах происходит отложение солей жесткости (проблему пытаются решать изменением полярности электродов и использованием электродов с покрытиями из платиноидов, срок службы декларируется до 5 лет). Метод апробирован на небольших станциях

8.1.1. Обеззараживание жидким хлором

Основное оборудование для применения жидкого хлора

8.1.1. Испарители-уловители жидкого хлора (для малых установок)	8.1.2. Испарители жидкого хлора (для больших установок)	8.1.3. Детекторы хлора в воздухе
8.1.4. Система нейтрализации хлора в воздухе	8.1.5. Комплектные хлораторы	

8.1.2. Получение гипохлорита натрия

Производство гипохлорита натрия (ГПХН) осуществляют методом электролиза раствора хлористого натрия $NaCl$ (поваренной соли). При этом используют два пути получения конечного продукта: с применением мембранного разделения катодного и анодного (электродного) пространства электролизера и без такого разделения.

Технико-экономические показатели работы электролизера определяются не только затратами электроэнергии, но и достигаемой степенью использования исходного раствора поваренной соли, поскольку затраты на соль являются одной из главных статей расхода при производстве гипохлорита натрия.

Еще одним фактором, влияющим на процесс электролиза раствора хлорида натрия и снижения выхода по току гипохлорита натрия, является образование на катодах отложений (чаще всего отложений солей жесткости).

До 70-х годов предыдущего века для электролитического производства ГПХН наиболее широко применяли графитовые электроды, у которых главным недостатком является то, что они разрушаются в процессе электролиза, особенно в растворах хлоридов с невысокой концентрацией. Срок службы графитовых анодов в установках получения гипохлорита составляет не более 3–4 месяцев.

Поэтому графитовые аноды стали заменяться на титановые с активным покрытием из диоксидов рутения и титана, у которых срок службы более 12 месяцев. За рубежом такие аноды имеют аббревиатуру DSA (от англ., *Dimensionally Stable Anodes*, *размерно стабильные аноды*), в отечественной практике они более известны под торговой маркой «оксидные рутениево-титановые аноды»

8.1.2.1. Получение ГХН с применением мембранного разделения катодного и анодного (электродного) пространства электролизера

Из электролизера анолит, содержащий молекулярный хлор и часть поваренной соли, которая не разложилась на аноде, направляется в сепаратор для отделения из него хлора. После отделения хлора в сепараторе происходит измерение плотности анолита и при помощи насоса-дозатора добавляется необходимое количество насыщенного раствора поваренной соли. Выделенный из анолита хлор подается в реактор, где он вступает в реакцию с католитом, который содержит едкий натрий и водород, образуя ГПХН, который собирают в приемную емкость. Водород из реактора сбрасывается на «свечу» или в атмосферу при многократном разбавлении его воздухом. Для снижения энергозатрат в схеме устанавливают два рекуперационных теплообменника.

8.1.2.2. Получение ГХН без мембранного разделения электродного пространства

Электролизер выполняется в виде некоторой емкости (реактора), в которой размещаются электроды (катод и анод). Получающийся в результате реакции гидроксид натрия взаимодействует с хлорной и хлорноватистой кислотами, образуя соответственно хлорид и гипохлорит натрия

8.1.4. Получение диоксида хлора

8.1.4.1. Из газообразного хлора (свободного хлора) и хлорита натрия

Этот способ получения диоксида хлора являлся до настоящего времени наиболее распространённым. Реакции протекают практически мгновенно. Ввиду работы с газообразным хлором необходимо создавать в системе достаточно высокое давление. Данная схема применяется при достаточно больших расходах диоксида хлора (0,5-10 кг/ч по ClO₂). Промышленное производство хлорита натрия в России отсутствует.

8.1.4.2. При обработке гипохлорита натрия минеральной кислотой

Достаточно распространённый метод получения диоксида хлора, не требующий использования газообразного хлора, основан на взаимодействии гипохлорита натрия с минеральной кислотой (обычно соляной). Реакции протекают практически мгновенно. Из 1 моли хлорита натрия получается 1 моль диоксида хлора. Здесь не используется газообразный хлор, поэтому нет необходимости создавать в системе более высокое давление, как это имеет место в предыдущей схеме. Процесс кислота-хлорит используется при маленьких расходах диоксида хлора (0,5 кг/час и менее). Реакция протекает относительно медленно.

8.1.4.3. При взаимодействии хлорита натрия с соляной кислотой.

В России также ограничивается отсутствием промышленного производства хлорита натрия. Реакция требует несколько минут.

Производство диоксида хлора и хлора из хлората – см. п. 8.1.5

8.2. Обеззараживание УФ облучением

Оптимальный метод для обеззараживания подземных вод высокого качества. При обработке поверхностных вод может применяться не только для вторичного, но и для первичного обеззараживания. Вторичное УФ обеззараживание может применяться совместно с хлором, для решения проблемы вирусов при сохранении последствие в сетях. Для обеспечения последствие в воду, обработанную УФ, могут добавляться не хлор, а хлорамины.

Технологии УФ обеззараживания различают по типу ламп (описывается давлением паров ртути, формирующих УФ лучи при подаче напряжения), а также по типам дополнительного физического воздействия.

Лампы – ключевой компонент УФ установок

Типы УФ ламп

Тип УФ ламп	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
8.2.1. Лампы низкого давления (ЛНД)	ЛНД давления монохромные (одноцветные) и поэтому вырабатывают только один тип волны УФ излучения (254 нм).	ЛНД производят 33-40% УФ-С излучения от всего спектра, что не сравнится с результатами ЛСД (максимум 7-13%);	Низкая единичная мощность ламп (максимум до 1,5 кВт на лампу). Это увеличивает габариты установок и их стоимость.
8.2.2. Лампы среднего давления (ЛСД)	Вырабатывают УФ в широком спектре излучения	Обладают довольно высокой удельной мощностью (до 15-20 кВт на одну лампу), что позволяет проектировать компактные установки для УФ обработки. На 30-50% выше эффективность преобразования энергии в УФ облучение	ЛСД создают в 10 раз больше тепла (870 °С), чем ЛНД (максимум 82 °С). Для того, чтобы ЛСД прослужила максимальное время, ее рабочая температура должна находиться под постоянным наблюдением и контролем. Высокая температура интенсифицирует осаждение карбонатов на поверхности. Большая часть УФ излучения производится вне пределов спектра бактерицидного обеззараживания. Это, в частности, приводит к эффекту фотолиза органических загрязнений и образованию его продуктов. Срок службы ламп ниже

УФ облучение может применяться не только для обеззараживания, но и для совместного проведения двух процессов – окисления токсичных микрозагрязнений и обеззараживания (см. раздел 9.3).

Для целей обеззараживания УФ может применяться:

А. Как самостоятельный метод

Б. вместе с применением УЗ обработки, в едином аппарате.

По информации от производителей, совместное применение УФ и УЗ излучения обладает следующим преимуществом:

- кавитационный эффект обеззараживания, приводящий к резкому локальному увеличению давления и температуры в зоне включений в воде, приводит к гибели спор грибов и бактерий;

- не требуется механическая очистка и химическая промывка, что важно при обеззараживании сточных вод с малой прозрачностью и большим количеством взвешенных веществ. Ультразвуковой излучатель, помещенный внутри камеры ультрафиолетовой обработки, тщательно отмывает поверхности корпуса и защитного кварцевого кожуха ультрафиолетового излучателя, что предотвращает их биообрастание.

8.3. Обеззараживание озоном

Обеззараживание озоном представляет собой частный случай использования озона в водоподготовке, детально описанного в разделе ... Обеззараживание озоном происходит в результате окисления им доступных органических веществ, в том числе мембран патогенных организмов, приводящее к их гибели.

Обеззараживание озоном достигается при соблюдении следующих параметров:

- доза около 5 мг/л,
- время контакта 5-10 мин,
- концентрация остаточного озона 0,3-0,4 мг/л.

Преимущества озона как обеззараживающего агента:

- будучи более сильным окислителем чем хлор, озон эффективен в отношении вирусов,
- озон не образует летучих галогенорганических веществ.

Однако, полностью разлагаясь в воде менее, чем за час, озон не обладает пролонгированным действием в отношении микроорганизмов. Более того, озонирование приводит к повышению биодоступности органических веществ, провоцируя рост микрофлоры в сетях водоснабжения. Поэтому озонирование как метод обеззараживания на заключительной стадии очистки применяют в сочетании с хлорированием уменьшенными дозами.

Озонирование обладает существенными недостатками: высокая стоимость и сложность оборудования, высокие требования к технике безопасности, существенные затраты электроэнергии.

Ввиду описанных свойств озонирование крайне редко используется только для обеззараживания. Как правило, его применение направлено на снижение цветности, удаление запахов и привкусов.

8.4. Обеззараживание полимерными биоцидными реагентами

В настоящее время как обеззараживающий реагент применяются полимерные гуанидиновые соединения (ПАГ, ПГМГ). ПАГи, проникая внутрь клеток путем разрушения мембран, необратимо нарушают их функционирование по ряду механизмов. Механизм действия, позволяющий ПАГ расходоваться только на разрушение клеток, не потребляясь на окисление органических загрязнений, позволяет применять ПАГ при очень низких дозах.

ПАГи обладают высокой флокулирующей активностью и могут применяться также и как флокулянт. Большая часть реагента при этом осаждается в составе образовавшихся флокулов. Не образует побочных продуктов. Присутствие реагента неощутимо в воде, однако, его остаточные концентрации продолжают оказывать

бактерицидное действие. Обычное содержание ПМГ-ГХ в питьевой воде (данные по одному из крупных объектов применения) составляет 0,05-0,1 мг/л

На базе ПАГов выпускается несколько препаратов для дезинфекции и обеззараживания, в состав композиции которых входят также другие бактерицидные препараты.

Однако, внедрение препаратов на основе ПАГов сопровождается бурной дискуссией, включающей в себя протесты населения, обращения в госорганы и т.п. Аргументы против ПАГов заключаются в том, что недостаточно изучено их токсикологическое влияние на человека и эти препараты имеют более высокую токсичность, чем это декларируется производителями. Следует отметить, что изначально ПАГи разрабатывались как препараты для дезинфекции поверхностей, пестициды и не были рассчитаны на систематическое потребление человеком. На рынке предлагаются различные комплексные препараты на основе ПАГ, что затрудняет их оценку и увеличивает токсикологические риски применения.

Согласно ГН 1.2.1323-03 «Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень)», поз 264, для действующего вещества полигексаметилен-гуанидин ДСД (допустимая суточная доза, мг/кг массы тела человека) установлена равной 0,002 мг/л. Однако, при среднем содержании ПГМГ-ГХ 0,7 мг/л и суточном потреблении воды 2 л/чел общее потребление составит 1,4 мг/сутки, что на вес в 60 кг дает 0,02, т.е. в 10 раз выше ДСД.

Также обращает на себя внимание весьма низкая - 0,006 мг/л ПДК/ОДУ в воде водоемов, установленная по санитарно-токсикологическому показателю вредности.

Из недостатков по обеззараживающему эффекту следует отметить, что недостаточно изучено воздействие на вирусы. Также как и для многих других обеззараживающих агентов имеет место тенденция увеличения сопротивляемости микроорганизмов, снижение эффективности обработки при постоянном применении органических биоцидов и как следствие, необходимость увеличения концентрации последних.

Для принятия решения об отнесении обеззараживания реагентами на основе ПГМГ к рекомендуемым эффективным технологиям, необходимо провести углубленную профессиональную и санитарную экспертизу.

9. Комплексные и многофункциональные методы

В этом разделе приведено описание методов вне связи с задачами очистки и кондиционирования воды. Данные методы и оборудование для их реализации могут применяться для решения различных задач. Это применение описано в соответствующих разделах.

9.1. Адсорбционная очистка

Эффективный метод удаления из воды растворенных органических веществ путем удержания их на развитой структуре поверхности твердых веществ - адсорбентов. В качестве адсорбентов могут быть применены:

- природные материалы: глины, цеолиты,
- искусственные вещества (активированный диоксид алюминия, силикагель, гидроксиды ряда металлов),
- углеродные материалы (активные угли, углеродные волокна),
- органические полимерные смолы (молекулярные сорбенты).

Основное применение в подготовке питьевой воды получили активные угли, приготовляемые из ископаемых (угли, торфы) и природных (древесина, скорлупа орехов) материалов. Они обладают высокой адсорбционной способностью и широким спектром применения.

Адсорбционная (как правило, называют просто сорбционной, что не совсем правильно, но почти общепринято) очистка с применяется для повышения глубины очистки воды от органических загрязнений и удаления продуктов озонлиза на заключительном этапе обработки воды. Преимуществами сорбционного метода являются: удаление загрязнений чрезвычайно широкой природы до любой остаточной концентрации, отсутствие вторичных загрязнений и возможность управления процессом. Наряду с этим сорбционная ступень очистки воды повышает надежность работы водоочистной станции в целом и гарантирует требуемое качество воды (при необходимости с уменьшением подачи воды) даже в периоды аварийных ситуаций и попадания в водоисточник химических загрязнений: фенолов, нефтепродуктов и др. Наиболее эффективным является применение сорбционной очистки с предварительным озонированием воды, которое повышает глубину очистки и продлевает срок работы активного угля между реактивациями.

Различают два основных вида активных углей: порошкообразные (ПАУ) и гранулированные (ГАУ). ПАУ представляет собой частицы с размерами 10-50 мкм, ГАУ – зерна правильной или неправильной формы, размером от 0,4, до 1,7 мм. ГАУ, кроме сорбционной функции, может также использоваться как фильтрующая загрузка для задержания взвеси (данная функция должна быть сведена к минимуму), носитель биопленки и катализатор. Как катализатор ГАУ используют обычно для дехлорирования и разрушения хлораминов.

Процесс сорбции заканчивается при исчерпании сорбционной емкости сорбента. ГАУ подлежат регенерации различными методами. К сожалению, в России работает всего одна установка по регенерации ГАУ (Электростальский химико-механический завод).

На базе адсорбентов развивается близкий процесс - биосорбция. При биосорбции на поверхности частиц активных углей, долго находящихся в сооружении, развивается специфическая микрофлора в виде биопленки. Эти бактерии потребляют значительную часть органических веществ, сорбируемых углем, причем эти процессы на поверхности угля протекают быстрее и глубже. Это многократно увеличивает срок использования угля как сорбента. Срок использования как носителя биопленки определяется только прочностью агломерата частица-биопленка.

Применение различных видов угольных сорбентов

Тип угольного сорбента	Характеристика	Преимущества	Недостатки
9.1.1. ПАУ	ПАУ добавляется в воду дозатором	Средство быстрого реагирования на появления в воде запахов (как правило, в весенний паводок) ПАУ дешевле в 2-3 раза. Гибкость технологии – возможно увеличивать дозу при росте загрязнений в воде. Быстрая адсорбция.	Принципиальная невозможность регенерации во внешних специальных установках
9.1.2. Применение ГАУ	Вода контактирует с ГАУ отдельно от стадии коагуляции. ГАУ размещается как загрузка в сооружениях различных конструкций	Полное использование адсорбционной емкости угля. Потенциальная возможность регенерации ГАУ в специальных установках.	Необходимы специальные сооружения (в идеале – после зернистых фильтров). ГАУ существенно дороже ПАУ. Регенерация ГАУ в России по-прежнему практически недоступна

9.1.1. Технологии с применением ПАУ

Технологический процесс	Характеристика	Преимущества	Недостатки
9.1.1.1 Дозирование перед сооружениями осветления	ПАУ вводится совместно вместе с коагулянтами и флокулянтами, входит в состав хлопьев флокулянта и отделяется вместе с ними на стадии осветления	Низкие капитальные вложения. Улучшение процесса осветления воды	Безвозвратные потери угля при применении ПАУ совместно с коагулянтами. Глубокая очистка требует введения больших избыточных количеств ПАУ.
9.1.1.1.1. Дозирование ПАУ перед отстойниками	ПАУ применяется в классической схеме коагулирования с гравитационным отделением хлопьев в отстойниках	Наиболее простой способ, универсально применим. Капитальные вложения минимальны - требуется только дозатор ПАУ.	Максимальная потребность в ПАУ. Оправдан при использовании ПАУ не дольше 3 мес. в году.
9.1.1.1.2. Дозирование перед осветлителями	ПАУ применяется перед осветлителями с рециркуляцией осадка или со взвешенным слоем осадка (см. раздел ..)	Многokrратно увеличенное время контакта ПАУ с водой, обеспечивающее большее использование сорбционной емкости. Потребность в угле снижается до 20%	Необходимо применение специальных осветлителей
9.1.1.2. Использование ПАУ в контактном реакторе с осветлением	Вода подается в контактный реактор, где ПАУ присутствует в дозе несколько г/л, с непрерывным добавлением нового ПАУ. Реактор может быть выполнен как противоточный вытеснитель, с подачей воды снизу и ПАУ сверху. Пульпа выводится из реактора, флокулируется и осветляется. Отделенный	Максимальное использование адсорбционной емкости. Саморегулирование при любых пиковых нагрузках, т.к. емкость ПАУ в любой момент многократно превышает текущую нагрузку. Т.о., отсутствует риск проскока.	Необходим отдельный узел сорбционной обработки

	ПАУ может быть возвращен в реактор		
9.1.1.3. Биосорбционная обработка в мембранном биореакторе	Вода подается в биореактор, где ПАУ, с наростшей на нем биопленкой, присутствует в дозе несколько г/л. Реактор, где находится уголь, аэрируется. Частицы ПАУ отделяются на погружных безнапорных мембранах и возвращаются в биореактор. Добавление свежего ПАУ и отведение использованного производится по мере необходимости.	Минимальный расход ПАУ при максимальном технологическом эффекте. Эффективно при обработке загрязненной сырой воды. Процесс, саморегулируемый при пиковых нагрузках. Не требуется флокулянт для отделения ПАУ	Отдельное сооружение. Дорогостоящий узел мембранного разделения пульпы и воды

9.1.2. Технологии с применением ГАУ

Технологический процесс (оборудование)	Характеристика	Преимущества	Недостатки
9.1.2.1. Фильтр с неподвижной загрузкой	Вода, прошедшая зернистые фильтры (или, что нежелательно, без них) проходит сверху вниз через фильтры, загруженные ГАУ, как правило, напорные	Простая конструкция	Возможно неполное использование объема фильтра. Накопление взвеси на частицах ГАУ снижает эффективность сорбции
9.1.2.2. Использование в двухслойных фильтрах	ГАУ используют как верхний слой в двухслойных фильтрах	Снижение цветности и запаха без использования дополнительных фильтров	Требуется хорошее осветление воды перед подачей на фильтры
9.1.2.3. Адсорбер со взвешенным слоем	Вода подается насосом и движется восходящим потоком через слой ГАУ, при этом скорость в слое поддерживает его частицы во взвешенном состоянии. Пройдя через слой, вода рециркулируется	Максимально эффективный и быстрый массообмен, отсутствие проскоков. Частичное истирание поверхности ГАУ открывает нижние слои и повышает сорбционную емкость	Более сложная и энергоемкая конструкция
9.1.2.4. Биосорбер	Фильтр-биореактор, либо реактор со взвешенным слоем, с подачей в него кислорода (рециркуляцией воды через аэрируемую камеру, либо прямой аэрацией). В сооружение подается сырая вода. На поверхности ГАУ развивается биопленка, окисляющая большую часть сорбированных веществ	Многokратное продление срока службы ГАУ. Эффективная очистка как от обычных загрязнений (окисляемость, цветность), так и от специфических (нефтепродукты, хлорорганика, а также железа и марганец)	При аварийной остановке процесса свыше определенного времени последующий повторный запуск может вызвать проблемы. Также при остановках системы аэрации произойдет отмирание биопленки. Специфическая биопленка, адаптированная к окислению труднорастворимых веществ, нарастает до нескольких месяцев.

Технологически сорбционная очистка применима на заключительных стадиях очистки, в том числе после озонирования (процесс озонсорбции). При этом срок службы ГАУ в зависимости от качества воды водоисточника может достигать 3 лет, а в случае применения предварительного озонирования – существенно больше. Применение озона и угля приводит не к простому суммированию их действия, а возникновению нового процесса, заключающегося в каталитическом окислении загрязнений и сорбции продуктов распада, по отношению к которым уголь, как правило, обладает более высокой емкостью поглощения.

Биосорбция, напротив, применяется на стадии первичной очистки сырой воды, разумеется, до ее хлорирования.

9.2. Озонирование

Озон является наиболее сильным из известных природных окислителей и активно вступает в реакцию с органическими и неорганическими веществами. Обработка озоном позволяет эффективно достигать следующие цели:

- снижение цветности воды (прежде всего за счет разложения гуминовых кислот);
- удаление привкусов и запахов, в том числе специфических запахов и привкусов (почвы, плесени, травы, рыбы и др.), появляющегося при повышенных концентрациях планктона,
- устранения выделяемых планктоном ядовитых веществ,
- полное окисление ионов железа и марганца, что обеспечивает их эффективное удаление
- окисление и разложение сероводорода, фенольных соединений, СПАВ и нефтепродуктов, аммиака, нитритов, сероводорода, цианидов;
- существенное снижение ХПК и перманганатной окисляемости;
- эффективная дезинфекция.

Практически не известны микроорганизмы, бактерии, споры и вирусы, стойкие к озону. Процессы разрушения патогенов протекают гораздо быстрее, чем при использовании хлора.

Особенность озона - его быстрое разложение в воде с образованием кислорода, т.е. озон обладает полной экологической безопасностью. Время «жизни» озона в воде — 10–15 мин. Озон, в отличие от хлора, не формирует специфических соединений с органическими веществами.

Однако, озон не окисляет органические вещества полностью. Обработка воды озоном в приемлемых дозах вызывает частичное окисление содержащихся в ней органических загрязнений. Эти вещества впоследствии не только могут быть легко удалены на стадии сорбции, но и являются элементом питания для биопленки, развивающейся на поверхности угольной фильтрующей загрузки. За счет этого происходит частичная естественная очистка активного угля от накопленных в процессе сорбции загрязнений, что позволяет продлить период его эффективной работы между регенерациями и снизить эксплуатационные затраты.

Недостатки и особенности при применении озона:

1. Повышение коррозионной активности воды в результате повышенной концентрации кислорода, образующегося при распаде озона. Это требует использования оборудования и материалов, стойких к озону (трубы из ПВХ или нержавеющей стали, реакторы и емкости для хранения озонированной воды из ПВХ или бетона),

2. Невысокая растворимость в воде, требующая использования эффективных диспергаторов и решения проблемы остаточного озона в отходящем газе.

3. Необходимость строгого контроля концентрации озона в воздухе (ПДК в помещении, где работают люди – 1 мкг);

4. Высокая энергоемкость производства озона.

5. Экономически эффективное озонирование требует применения высокотехнологичного оборудования, которое из-за его сложности производится немногими компаниями.

6. В процессе озонирования воды возможно образование побочных продуктов (альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, фенолы и другие ароматические соединения). Из них наиболее представительным является формальдегид, в концентрациях, которые могут превышать ПДК (0,05 мг/л). Однако при последующей сорбционной очистке на угольных фильтрах содержание формальдегида существенно уменьшается.

7. Как обеззараживающий реагент озон не обладает пролонгирующим бактерицидным действием.

8. При озонировании воды многие органические загрязнения подвергаются деструкции, в результате увеличивается количество биоразлагаемых соединений, в воде повышается концентрация так называемого «ассимилируемого органического углерода», который легко усваивается микроорганизмами, способствуя их жизнедеятельности. С учетом предыдущего пункта это создает благоприятные условия для повторного бактериального загрязнения очищенной воды в водопроводной сети. Поэтому для надежной работы водопроводных сетей необходимо окончательное обеззараживание воды проводить хлорсодержащими реагентами гарантирует полный обеззараживающий эффект. Эти органические вещества могут быть удалены при сорбционной обработке.

9. В ряде случаев имеет место специфический характер действия озона, когда предварительное озонирование может ухудшить процессы коагулирования и хлопьеобразования, в результате в очищенной воде повышается мутность и концентрация остаточного алюминия.

Озонирование может применяться в трех местах технологии водоподготовки, в одном из трех, в двух, или во всех трех:

- на стадии предварительного окисления воды (предозонирование). Цель - окисление легкоокисляемых органических и неорганических загрязнений, улучшения процесса коагулирования, а также для частичного обеззараживания воды. В этом случае исходная вода обрабатывается небольшими дозами озона,

- после коагуляционной очистки перед песчаными или угольными фильтрами. Позволяет осуществить дальнейшее более глубокое окисление оставшихся загрязнений и, кроме того, повышает эффективность сорбционной очистки и продлевает срок службы активного угля до регенерации

- после полной обработки воды. Постозонирование обеспечивает полное обеззараживание (включая вирусы) и улучшает органолептические показатели воды

Процесс получения озона

Единственная технология, которая позволяет получать озон в промышленных количествах - электрический коронный разряд в чистом сухом газе, содержащем

кислород. Разряд возникает при наложении переменного напряжения между электродами от 3 до 20 кВт, при высокой частоте изменения полярности электродов - 600-1200 Гц. Т.е. обязательным компонентом установки озонирования является оборудование по трансформации параметров тока.

Основные варианты организации питания озонаторов

Технология	Описание	Преимущества/недостатки	Применимость
9.2.1. Непосредственно из воздуха	Последовательное прохождение воздухом процессов: фильтрации-компрессия – охлаждения – фильтрации- осушки – фильтрации, со сбросом давления	Позволяет работать непосредственно на атмосферном воздухе. Концентрация озона после озонатора в 3-4 раза ниже, чем на кислороде. Энергопотребление в 2 раза выше.	Установки производительностью 20-40 кг/ч
9.2.2. Из привозного жидкого кислорода	Хранение запаса при высоком давлении – испарение – фильтрация – сброс давления	Технически наиболее простой метод. Риски при перевозке и хранении кислорода. Затраты на покупку кислорода	Применим при наличии вблизи кислородного завода для установок производительностью более 15 кг/ч. Кислород не должен содержать углеводородов более 20 мг/л
9.2.3. Из кислорода, получаемого на месте			
9.2.3.1. Путем адсорбции на молекулярном сите	Компрессия – адсорбция – компрессия – фильтрация – сброс давления	Технически относительно несложный процесс	Установки производительностью более 15 кг/ч
9.2.3.2. Путем криогенного процесса	Компрессия – осушение – охлаждение – отгонка отделенного кислорода – компрессия – сброс давления	Наиболее сложный процесс	Установки производительностью более 100 кг/ч

Все методы с использованием (получением) кислорода требуют использования достаточно опасного в части взрыво- и пожароопасности оборудования, что является существенным препятствием к использованию кислорода.

Применение кислорода подразумевает систему его рециркуляции в процесс подготовки к подаче в озонатор.

Установки подачи озоносодержащего газа в воду отличаются большим разнообразием. Их выбор в значительной степени определяется скоростью реакций, для проведения которых используется озон. Тип реакций должен определяться предварительными тестами.

Типы реакторов озонирования

Типы реакторов озонирования	Характеристика	Преимущества	Недостатки
А. Барботажная колонна	Ёмкостное сооружение без загрузки. Ввод озона осуществляется пористыми придонными диффузорами. Значительное время контакта (для реализации медленных реакций)	Простоту и надежность вследствие отсутствия движущихся частей. Достаточно высокая эффективность массопереноса озона в глубоких резервуарах	Необходимость изготовления глубоких резервуаров (глубина не менее 6 м). Поверхность диспергаторов засоряется, приводя к увеличению объема пузырьков и соответственно ухудшению массопереноса. Положительное давление к трубкам, подводящих озон к диспергатору, может служить причиной выхода озона в помещение при повреждениях трубок и их соединений и представляет потенциальную опасность отравления персонала
Б. Вакуумные инжекторы	Разрежение, образующееся в трубке Вентури за счет значительного увеличения скорости движения воды, засасывает газовую смесь от генератора озона в поток воды.	Высокая эффективность массопереноса (особенно при сочетании со статическими смесителями). Оборудование для растворения озона и контакта с водой имеет значительно меньшие габариты, нежели чем в системах с диспергированием. Отсутствие механических частей, надежность. Высокая степень безопасности – при повреждении озоновых трубок и уплотнений вакуум не дает озону выделяться в воздух помещения	Потери давления воды, обуславливающие необходимость использования дополнительных насосов и повышение тем самым энергозатрат. Несмотря на указанный недостаток эжекторный способ растворения озона получил большее распространение
В. Реактор с механической мешалкой (турбиной)	Турбина всасывает обрабатываемую воду и подает ее на поток озоносодержащего газа, дробя его. Среднее время контакта (для реализации реакций средней скорости)	Высокая эффективность массопереноса озона в воду. Возможно введение высоких доз озона. Не зависит от расхода жидкости	Энергоемкое решение. Требуется механическое оборудование. Мотор, вал и турбина представляют собой движущиеся части, которые подвержены износу и быстро выходят из строя в агрессивной среде озон-вода. Поэтому турбинная технология растворения озона не нашла широкого применения в
Г. U-образный реактор	Обрабатываемая вода, куда эжектируется поток озонсодержащего газа, насосом с большой скоростью прокачивается	Высокая эффективность растворения озона. Малая площадь	Высокие расходы на создание шахтного реактора. Невысокая гибкость в изменении расхода

	сначала по нисходящей трубе глубиной около 20 м, затем образовавшаяся смесь поднимается вверх по коаксиальной трубе. Малое время пребывания (для реализации быстрых реакций)		
Д. Насадочная колонна	Принцип градирни: озонсодержащий газ подается снизу слоя насадки (из керамики или из нерж. стали), на который сверху в капельном режиме подается вода. Малое время контакта (для реализации быстрых реакций)	Хороший массообмен за счет встречного движения в системе типа вытеснителя.	Небольшое время контакта. Возможно забивание насадки
Е. Статический смеситель	Смешение газа с водой осуществляется в отрезках труб, куда вмонтированы смешивающие статические элементы (местные сопротивления). Очень малое время контакта (для реализации очень быстрых реакций)	Быстрый процесс, компактное оборудование	Высокие энергозатраты

В качестве диспергаторов озона используются изделия из керамики или металлокерамики (спеченные металлические порошки):

- А. нержавеющей стали,
- В. титана,
- С. оксида алюминия

Отходящие газы после озонирования проходят через аппарат разложения озона, как правило, каталитический

9.3. Комплексная физико-химическая обработка

Группа развивающихся методов, основанная на совместном применении фотохимического (УФ облучение) окисления, и химического окислителя (озон, пероксид водорода и др.). Могут также применяться катализаторы процесса. В роли катализаторов могут выступать металлы переменной валентности, в том числе железо. По сравнению с другими «чистыми» окислителями (озон, кислород) перекись водорода имеет ряд технологических преимуществ: высокую растворимость в воде, относительно высокую стабильность при хранении, простоту аппаратного оформления и технологического контроля. H_2O_2 – это жидкость, поэтому нет опасности утечки газообразного материала, что может представлять опасность для окружающих. Требования к разрешению на работу с опасными веществами и плану эвакуации – отсутствуют. Не требуется никакого специального погрузочно-разгрузочного оборудования или оборудования для обеспечения безопасности. За рубежом используется также смесь перекиси водорода с катализатором – двухвалентным железом (так называемый реагент Фентона).

Методы эффективны и представляют интерес для окисления в воде специфических загрязнений (галогенорганические соединения, азотистые соединения, в том числе формирующие запахи в воде, пестициды, цианистые соединения, остатки лекарственных средств, гормональных препаратов и т.п.). За рубежом эти методы получили название «передовая обработка»

Применение УФ для окисления имеет существенные отличия от применения для дезинфекции. Для окисления большим преимуществом пользуются более мощные лампы среднего давления, дающие полихроматический цветовой спектр. Но также возможно и применение ламп низкого давления.

Для условий периодического применения (паводки, планктон) возможно двухрежимное применение:

- стандартный режим - дезинфекция. Для него требуется небольшой расход энергии;

- режим окисления загрязнителей: Задействуется только при появлении постороннего запаха/вкуса у воды либо в случае загрязнения пестицидами. В этом случае подается энергия на дополнительные лампы (либо УФ реакторы) и перед УФ системой подается перекись водорода.

Комплексная технология обладает существенными преимуществами по сравнению с озонированием:

- гораздо более высокая безопасность эксплуатации,
- отсутствие образования побочных соединений,
- существенно ниже капитальные затраты,
- небольшая требуемая площадь,
- способность устранять загрязнения, стойкие к окислению, в том числе диоксинового и фуранового рядов.

9.4. Мембранная обработка

Применение мембранной обработки весьма разнообразно. Однако, для решения задач питьевого водоснабжения следует рассматривать следующие практические задачи:

- отделение больших концентраций взвешенных веществ
- глубокая очистка поверхностных вод от мутности и цветности,
- удаление солей из маломинерализованных (несколько г/л) подземных вод, для использования их как питьевой воды.

Первые две задачи рассмотрены в разделе Сооружения для реагентной обработки и отделения взвесей (снижение мутности). Для их решения используют технологию ультрафильтрации.

Задача удаления минеральных солей рассмотрена в разделе Обессоливание (опреснение)

При использовании мембран решаются следующие основные задачи:

- предотвращение концентрационной поляризации на мембранах (при обессоливании), либо образования отложений на мембранах (при осветлении),
- компактность расположения поверхности мембран,
- возможность проведения обратной промывки, химической очистки, обеззараживания ,
- легкость монтажа и демонтажа,
- возможность автоматизации процесса.

Основные типы единичных модулей (элементов) мембран

Тип модуля	Характеристика	Применимость	Преимущества	Недостатки
1. Трубчатые	Мембрана сформирована в виде трубки диаметром 4-25 мм. Трубки располагаются в цилиндрическом корпусе. Могут выполняться как из органических материалов, так и керамических материалов.	Для обработки вязких жидкостей, воды с большим содержанием взвеси. Керамические мембраны используются для работы на воде непосредственно после введения реагентов	Хорошая гидродинамика, Возможность периодической очистки (шариками из губки). При применении для водоподготовки применяются как основное очистное оборудование и одновременно узел для сгущения осадка	Большие размеры. Плотность упаковки небольшая: 60–200 м ² /м ³ . Высокая себестоимость 1 м ² площади. Керамические мембраны могут забиваться волокнами. Для них характерны хрупкость, а также разность коэффициентов температурного расширения

				материалов корпуса и мембран, что усложняет уплотнительный узел в месте их сопряжения
2. С полыми волокнами	Полые волокна диаметром 0,6-2 мм из экструдированного органического материала. Являются самонесущими, т.к. вследствие малого диаметра могут выдерживать рабочее внутреннее или внешнее давление.	Основной тип для мембран осветления	Очень высокая удельная площадь поверхности. Легкость регулярной очистки обратной промывкой	Требуется защита (микросита) от полых волокон изнутри или нарушения протекания жидкости снаружи
2.1. С внутренней мембраной	Обрабатываемая жидкость протекает внутри. Волокна собираются в трубчатые пластиковые модули.	Тонкая фильтрация при осветлении		
2.2. С внешней мембраной	Обрабатываемая жидкость протекает снаружи. Волокна собираются в пучки, закрепляемые с двух сторон в коллекторы, которые собираются в кассеты. Прохождение через мембрану обеспечивается небольшим давлением (ниже 1 бар) или вакуумом	Обработка сильно загрязненных сред		
3. Пластинчатые модули	Состоят из набора мембран и поддерживающих пластин. Обрабатываемая жидкость проходит между двумя сопряженными мембранами, расположенными на поддерживающих пластинах	Применение универсально	Легкий демонтаж модуля обеспечивает возможность ручной прочистки и замены	Большая потеря напора в мембранах. Большое число соединений
4. Спиральные модули	Между двумя плоскими мембранами прокладывается пористый гибкий лист – коллектор. Набранная из нескольких элементов конструкция, запечатанная по краям скручивается в спираль и помещается в цилиндрическую емкость. Мембраны присоединяются к коллектору с помощью соединителей с кольцеобразными прокладками	Основной тип для мембран для обессоливания. Не применимы для осветления	Наиболее компактные из всех модулей. Низкая потеря давления	Очень чувствительны к забиванию. Требуют тонкой предварительной подготовки

Основные характеристики мембранных процессов

Процесс	Удаляемые вещества	Использование	Рабочее давление, бар
Ультрафильтрация (УФ)	Частицы размерами до 0,1 мкм: коллоиды, белки,	Осветление воды	1- 7

	микробиологические загрязнения и крупные органические молекулы		
Наночелювтрация (НФ)	Частицы размерами 0,1 мкм – 1 нм Задерживаются молекулы органических веществ с молекулярной массой 200-400. Соли, содержащие одновалентные ионы (например, хлорид натрия или кальция), задерживаются на 20-80%. Соли с двухвалентными анионами (например, сульфат магния), задерживаются в большей степени (90-98%).	Для удаления цветности и общего органического углерода из поверхностных вод, удаления жёсткости или радия из артезианской воды, общего снижения содержания растворенных веществ	3.5 - 16
Обратный осмос (ОО)	Задерживает все растворенные соли, а также молекулы веществ с молекулярным весом более 100	Обессоливание (опреснение)	От 5 - для солоноватой воды, - до 85 для морской воды

Мембранные технологии, в частности обратный осмос и ультрафильтрация, имеют ряд преимуществ перед традиционными схемами водоподготовки, которые хорошо известны. Наряду с достоинствами этих технологий необходимо отметить и присущие им недостатки:

- рост расходов электроэнергии при эксплуатации;
- увеличение потребления воды на собственные нужды.

Рост затрат на электроэнергию связан с необходимостью применения в обратноосмотических установках насосного оборудования, развивающего давление существенно более высокое, чем в традиционных схемах водоподготовки, где оно редко превышает 6 бар. Этот недостаток в меньшей степени касается установок ультрафильтрации, которые работают при давлениях воды, сопоставимых со стандартными методами очистки.

10. Обработка технологических сточных вод станций водоподготовки

10.1. Обработка промывных вод

На станциях водоподготовки, использующих фильтры, образуется значительный поток промывных вод. Они загрязнены взвешенными веществами и продуктами их гидролиза.

Возможны три варианта обращения с промывными водами:

Технология	Описание	Преимущества	Недостатки	Оценка
10.1.1. Сброс в водный объект (также на рельеф - в овраги и т.п.)	Выпуск промывной воды без очистки	Простейшее решение, не требующее затрат	Существенный экологический вред: повышенное содержание хлорорганических веществ в сливной воде; хлопья гидроокиси алюминия оседают на дно, заливая его, либо всплывают на поверхность. Потеря воды, уже забранной из водного объекта. Рост уплаты водного налога	A1
10.1.2. Отстаивание в прудах-шламонакопителях	Промывная вода отстаивается в прудах, осветленная вода сбрасывается в водный объект	Уменьшение экологического ущерба по сравнению с непосредственным сбросом	Отчуждение значительных территорий	A2
10.1.3. Сброс в систему водоотведения	При наличии в относительной близости канализационного коллектора необходимой пропускной способности промывная вода может быть сброшена в него	Простое, внешне не требующее затрат решение. Экологический ущерб не наносится	Потеря воды, уже забранной из водного объекта. Рост уплаты водного налога. Существенный рост расход сточных вод в системе водоотведения. Перегрузка не только системы транспортировки сточных вод, но и, как минимум, вторичных отстойников.	A2
10.1.4. Возврат промывных вод в технологию водоподготовки без предварительной очистки	Промывные воды накапливаются в резервуарах-усреднителях без отстаивания, затем подается в начало технологической схемы (перед смесителем с реагентами). Очистка промывной воды при этом производится вместе с сырой водой.	Простое решение. Сокращается забор воды из водного объекта. Устраняется экологический ущерб (при условии надлежащей обработки осадка)	Необходимо создание резервуаров-усреднителей. Во многих случаях ухудшается качество очищенной воды (мутность, цветность, содержание алюминия)	B1
10.1.5. Обработка на	Промывная вода	Экономия	Необходимо строить	B2

сооружениях водоподготовки с предварительной очисткой	осветляется в отстойниках (как правило, периодического действия) и подается на смешение с сырой водой. Осадок отводится (обработка осадка – см. ...)	забираемой воды. Нет экологического ущерба, не перегружается система водоотведения	системы обработки промывной воды	
---	--	--	----------------------------------	--

10.2. Обработка осадка от сооружений водоподготовки

В традиционной технологии очистки поверхностных вод основная масса осадка образуется в отстойниках и осветлителях. Часть осадка также может быть выделена при отстаивании промывной воды.

Технология	Описание	Преимущества	Недостатки	Оценка
10.2.1. Сброс осадка в общем объеме технологических стоков в водные объекты (также на рельеф - в овраги и т.п.)	Выпуск технологических стоков воды без очистки	Простейшее решение, не требующее затрат	Существенный экологический вред: повышенное содержание хлорорганических веществ в сливной воде; а хлопья гидроокиси алюминия оседают на дно, заиливая его, либо всплывают на поверхность. Потеря воды, уже забранной из водного объекта. Рост уплаты водного налога	А1
10.2.2. Рециркуляция промывной воды, сброс в водный объект только осадков	Осветление промывной воды и сброс в водный объект только малой части от ее расхода	Сокращение забора воды, уплаты водного налога	Экологический ущерб максимален, т.к. производится сброс при малом расходе концентрированной жидкости, заиливающей водные объекты на значительном протяжении	А1
10.2.3. Рециркуляция промывной воды, сброс осадков в систему водоотведения	Осадки (смесь осадка отстойников или осветлителей и осадка, выделенного из промывной воды) сбрасываются (перекачиваются) в систему водоотведения и обрабатываются вместе со сточными водами на очистных сооружениях	Минимизация негативного воздействия как на водные объекты, так и на технологию водоподготовки. Отсутствие гидравлической перегрузки системы водоотведения. Выраженный эффект более глубокого удаления фосфора на сооружениях биологической очистки за счет остаточной	Перегрузка первичных отстойников, приводящая к увеличению прироста избыточного активного ила. Увеличение общего количества осадков на ОСК непропорционально сбросу водопроводного осадка	Б1

		сорбционной способности гидроксидов, формирующих осадок	Негативное воздействие на удаление азота из-за повышения инертной составляющей активного ила. Перегрузка метантенков, там где они применяются. Часто - более высокие затраты на обработку и утилизации в смеси с осадком ОСК.	
10.2.4. Обезвоживание осадка на территории станции водоподготовки	Осадки (смесь осадка отстойников или осветлителей и осадка, выделенного из промывной воды) подвергаются уплотнению (гравитационному или механическому – с флокулянтами) и обезвоживаются на одном из типов аппаратов механического обезвоживания (аналогично осадку ОСК – см. раздел 4.1). Фильтрат от обезвоживания подлещит сбросу в систему водоотведения	Отсутствие дополнительной нагрузки как на окружающую среду, так и на ОСК. Возможность более простой утилизации обезвоженного осадка, как отхода 5-го класса опасности (осадок ОСК – 4-го класса).	Необходимость создания и эксплуатации узла обезвоживания осадка	В1