

Министерство путей сообщения Российской Федерации
Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Кафедра "Гидравлика и водоснабжение"
В.В. Кулаков
Е.В. Сошников
Г. П. Чайковский

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ И ДЕМАНГАНАЦИЯ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД
Учебное пособие

Хабаровск
1998

Кулаков В. В., Сошников Е. В., Чайковский Г. П., Обезжелезивание и деманганация подземных вод: Учебное пособие - Хабаровск: ДВГУПС, 1998. - 100 с.

В пособии даны основные теоретические и технологические сведения процессов очистки подземных вод от растворенных в них железа и марганца. Отражены новые разработки в этой области ведущих зарубежных фирм, а также результаты многолетних исследований сотрудников кафедры. В пособии приведены многочисленные примеры из практики работы водоочистных комплексов Дальневосточного региона. Даны примеры расчета сооружений, иллюстрирующие теоретические положения.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности "Водоснабжение, водоотведение, рациональное использование и охрана водных ресурсов" очной и заочной формы обучения с целью оказания помощи при изучении курса "Очистка природных вод" и выполнении курсовых и дипломных проектов, а также для слушателей Центра переподготовки и повышения квалификации руководящих кадров при ДВГУПС.
Рис. 40, табл. 7, прил. 1, список лит. 27 назв.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ЖЕЛЕЗО И МАРГАНЕЦ

2. УДАЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ ВОДЫ УПРОЩЕННОЙ АЭРАЦИЕЙ С ФИЛЬТРОВАНИЕМ

2.1. Основы процесса и технологии

2.2. Применение крупнозернистых фильтров для обезжелезивания воды

2.3. Обезжелезивание воды в напорных фильтрах

2.4. Обезжелезивание в двух ступенях открытых фильтров

3. БЕЗРЕАГЕНТНЫЕ СХЕМЫ УДАЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСИЛЕННОЙ АЭРАЦИЕЙ

4. РЕАГЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

- [5. ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ МАРГАНЦА](#)
- [6. НЕТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА](#)
- [7. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД](#)
- [8. ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ И ДЕМАНГАНАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ](#)
- [9. СООРУЖЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СТАНЦИЙ ОБРАБОТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД](#)
 - [9.1. Аэрационные устройства](#)
 - [9.2. Фильтры для обезжелезивания и деманганации воды](#)
 - [9.2.1. Скорые безнапорные фильтры](#)
 - [9.2.2. Фильтры с низким горизонтальным отводом промывных вод](#)
 - [9.2.3. Напорные фильтры](#)
 - [9.2.4. Расчет фильтров обезжелезивания и деманганации воды](#)
 - [9.3. Сооружения обработки промывных вод и осадка станций обезжелезивания воды](#)
- [10. ПЛАНИРОВКА И КОМПАНОВКА СТАНЦИЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ](#)
- [ПРИЛОЖЕНИЕ](#)
- [СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ](#)

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на обильность поверхностных водоемов Дальнего Востока подземные воды здесь широко используются. Это объясняется значительными преимуществами подземных источников. Главным достоинством подземных вод является их меньшая загрязненность и большая защищенность от попадания в них загрязнений антропогенного характера.

В бассейне р. Амур водозаборы на реках довольно дороги, так как большие амплитуды колебания уровня в реках (до 11 м) сильно усложняют их конструкцию. Поэтому водозаборы на реках устроены в основном в крупных городах (Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре), где большие затраты на водозабор оправдываются их высокой производительностью.

Но даже в этих городах в последние годы возведены и планируются водозаборы из подземных источников, так как в пограничной реке Амур возможно непредсказуемое качество воды и концентрации биогенных загрязнений в ней со временем растут. Построены крупные водозаборы на месторождениях подземных вод "Моховая падь" для г. Благовещенска и "Мостовое" для г. Комсомольска-на-Амуре, проектируется водозабор на Тунгусском месторождении для г. Хабаровска. В небольших населенных пунктах и станционных поселках ДВ ж.д., Заб. ж.д. и Сах. ж.д. водозаборы из подземных вод преимущественны.

Основная проблема использования подземных вод в дальневосточном регионе заключается в высоком содержании в них растворенных соединений железа и марганца. Естественные геохимические процессы изменения химического состава пресных подземных вод за длительный геологический период привели к формированию на территории России и других стран

региональных гидрогеохимических провинций с повышенными содержаниями железа, марганца и других нормируемых санитарными нормами и ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая" элементов [1-4]. Поэтому использование подземных вод для хозяйственно-питьевых нужд населения возможно только после очистки подземной воды от компонентов, содержания которых превышают установленные нормы. Железосодержащие подземные воды широко распространены в долинах рек, особенно в их среднем и нижнем течении, то есть в районах основного проживания населения. Концентрации железа в подземных водах в этих районах составляют от 1-2 мг/л до 30 мг/л и более, а марганца до 1 - 4 мг/л.

Первые станции обезжелезивания воды были построены в Германии в Галле (1868 г.) и Шарлоттенбурге (1874 г.). В начале века методы обезжелезивания были хорошо известны и в России [5]. Но массовое строительство в России станций по обезжелезиванию подземных вод началось в последние 25 - 30 лет. В 1968 - 1970 годах были утверждены первые типовые проекты станций, которые были реализованы строительством во многих населенных пунктах России.

На Дальнем Востоке за последние 30 лет построено около 100 установок по очистке подземных вод, в основном с применением технологии упрощенной аэрации с последующим фильтрованием. Все они были рассчитаны на удаление железа из воды. В период их строительства считалось, что марганец, присутствующий в воде, будет удален после аэрации в фильтрах вместе с железом. Исследованиями кафедры гидравлики и водоснабжения ДВГУПС, выполненными на многих действующих сооружениях, доказана ошибочность этого положения.

Единственная станция предназначенная для удаления марганца из подземных вод была сооружена на ст. Ургал при строительстве БАМ ж.д. Опыт эксплуатации установок очистки подземных вод выявил многие проблемы, не отраженные ни в действующих нормах, ни в литературе. Состав подземных вод Дальнего Востока имеет свои специфические особенности: низкие минерализация, жесткость и **pH**, высокая концентрация двуокиси углерода, присутствие в повышенных концентрациях марганца. Эта специфика требует специфические технологические решения по очистке вод и эксплуатации водоочистных комплексов, которые должны быть учтены при обучении и выполнении курсовых и дипломных проектов студентами ДВГУПС, так как большая их часть готовится по направлениям железных дорог и предприятий Дальнего Востока и Забайкалья.

Литература, в которой описываются технологии очистки подземных вод, в значительной мере устарела. Последняя книга, посвященная этому вопросу, вышла в 1987 г [6]. Но, как раз в последние годы, с построением открытого общества, стал доступен международный опыт в этой области. Авторы пособия проводили исследования по обезжелезиванию и деманганаии подземных вод в контакте с зарубежными фирмами VYRMETODER AB (Швеция), Filltronics Inc. (США), ГИДРОПОЛ и НуСи (Словакия), некоторые результаты этих работ приведены в пособии. К настоящему времени нет надежной методики выбора технологии очистки железо- и марганецсодержащих вод по результатам их

анализа, только технологическое моделирование и учет опыта действующих сооружений позволяют определиться с выбором состава и параметров работы водоочистных сооружений.

Авторы надеются, что настоящее учебное пособие поможет студентам и специалистам правильно ориентироваться в описываемой области очистки природных вод.

1. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ЖЕЛЕЗО И МАРГАНЕЦ

Особенности состава подземных вод объясняются условиями их формирования. При контакте подземных вод с окружающими их горными породами, в воду поступают химические элементы входящие в состав этих пород. Железо и марганец растворяются подземными водами в местах, куда не проникает кислород, например под плотными водонепроницаемыми породами, куда не проникают дождевые и талые воды. В местах, куда с дождевыми или другими водами поступает кислород, железо и марганец находятся в окисленном, нерастворимом состоянии и содержание этих элементов в подземных водах чрезвычайно низко. На рис. 1.1 показаны эти места: зона аэрации (обогащение кислородом) и зона растворения железа и марганца (в условиях дефицита кислорода).

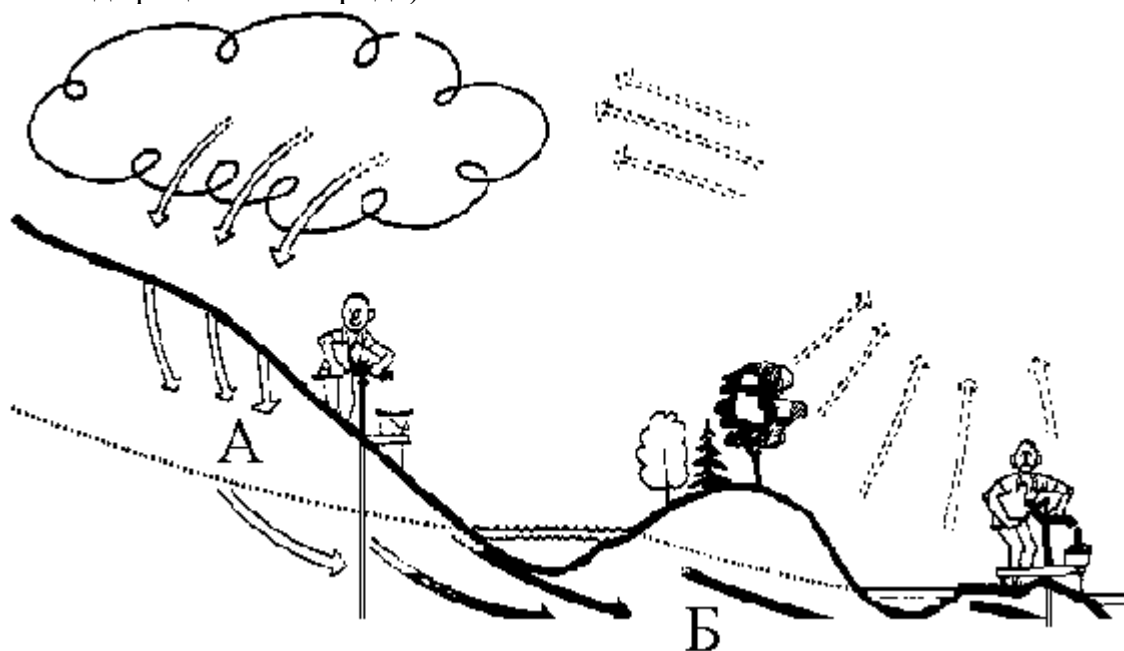


Рис. 1.1. Формирование железосодержащих подземных вод: А - зона аэрации; Б - зона растворения металлов; ----- линия горизонта подземных вод

Человек на рисунке слева откачивает подземную воду, обогащенную кислородом и с низким содержанием железа, человек справа откачивает воду с низким содержанием кислорода и с высоким содержанием железа. Таким образом наиболее важным фактором, определяющим состав подземных вод, являются гидрогеологические условия, однако большую роль играют физические, химические и биологические условия.

В природе железо находится в двух стадиях окисления - Fe^{2+} и Fe^{3+} и множестве форм. Существование различных форм соединений железа в воде представлено на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Схемы существования различных форм железа в воде

Рассмотрим основные отличия подземных и поверхностных вод на примере двух источников водоснабжения: р. Амур и Тунгусского месторождения подземных вод. Оба источника находятся в районе г. Хабаровска. Состав вод источников приведен в табл. 1.1.

В отличие от речных, подземные воды бесцветные и не содержат взвешенных частиц. Только, после контакта с кислородом воздуха, они приобретают рыжеватый оттенок, мутнеют, а на дне сосудов, в которых они находятся, появляется бурый хлопьевидный осадок гидроокислов железа. Концентрации железа и марганца в подземных водах значительно выше, чем в поверхностных. Имеются и существенные отличия в формах их существования: в поверхностных водах находятся, преимущественно, взвеси окислов железа и марганца, в подземных железо и марганец находятся в растворимых соединениях Fe^{2+} и Mn^{2+} . В подземных водах значительно выше концентрация растворенной двуокиси углерода CO_2 и ниже значение **pH**. Состав подземных вод практически постоянен по сезонам года.

Таблица 1.1

Состав воды в источниках водоснабжения для г. Хабаровска

Показатели качества	Р. Амур	Тунгусское месторождение	Показатели качества	Р. Амур	Тунгусское месторождение
	р	е		р	е

Железо общее, мг/л	0,7 - 1,4	15,2 - 19,2	Жесткость, мг- экв/л	0,5 - 1,1	1,55 - 2,0
Марганец общий, мг/л	0,09 - 0,1	0,62 - 1,12	Двуокись углерода CO_2 , мг/л	3 - 17	210 - 250
Ca^{2+} , мг/л	6 - 13	7,5	Солесодержание , мг/л	63 - 97	110
Eh, mV		- 16 - (-80)	Кислород, мг/л	6 - 11	Отсутствует
pH, един.	6,8 - 7,2	5,2 - 6,1	Температура, $^{\circ}\text{C}$	0 - 26	5
Щелочность , мг-экв/л	0,6 - 1,5	2,2 - 3,0	Цветность, градус	33 - 50	0
Фтор, мг/л	0,15 - 0,2	0,1	Мутность, мг/л	3,5 - 50	0

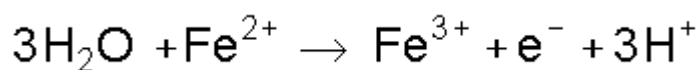
В зоне Сибири и Дальнего Востока железо присутствует в подземных водах преимущественно в воде в двухвалентном состоянии Fe^{2+} в растворенной форме $\text{Fe}(\text{HCO})_2$, но имеются месторождения подземных вод в которых железо находится в органических комплексах. В поверхностных водах, в частности в реках Амур, Уссури, железо присутствует в концентрациях до 2 мг/л. Большая часть его здесь находится в виде тонкодисперсной взвеси и устраняется при очистке воды с применением коагуляции. В этом пособии рассматриваются проблемы очистки только подземных вод от железа находящегося в растворимых формах.

В процессе обработки воды на водоочистных станциях формы железа изменяются. В присутствии окислителя и достаточной щелочности двухвалентное железо окисляется, органические формы его разрушаются и происходит гидролиз с образованием взвеси гидроксида $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Окисление двухвалентного железа происходит при обмене электрона по следующей схеме

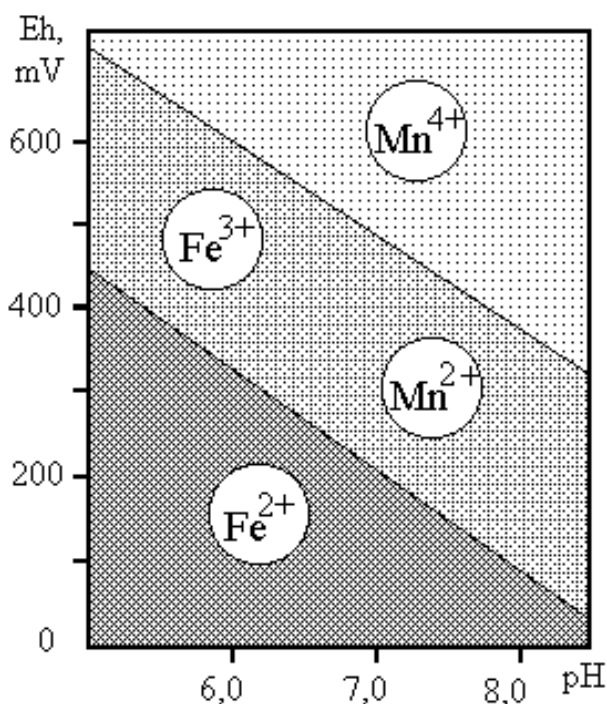


Для окисления железа по реакции (1.1.) необходим кислород в количестве 0,143 мг на 1 мг Fe^{2+} .

В присутствии ионов воды реакция окисления железа имеет вид



(1.2)



Концентрация ионов водорода H^+ оценивается значением **pH** воды, а активность электронов значением окислительно-восстановительного потенциала **Eh**. Влияние **pH** и **Eh**, на процессы окисления железа и марганца, растворенных в воде, показано на диаграмме, приведенной на рис. 1.3. Линии на рисунке показывают значения **pH** и **Eh** характеризующие состояние, при котором содержание различных форм под линией и над ней одинаково. На рисунке линиями разграничены три зоны, в верхней идет процесс окисления марганца, во второй сверху - окисления

железа, в нижней - железо и марганец не окисляются. Приведенные линии не являются абсолютными, их положение зависит от концентрации других веществ в воде. Из рисунка видно, что для окисления марганца необходимы более высокие, нежели для железа, значения **pH** и **Eh**.

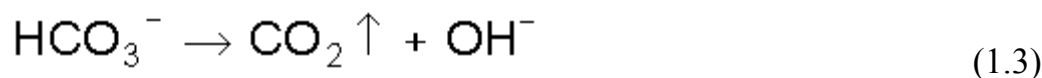
В природе марганец существует в различных стадиях окисления: Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} , Mn^{6+} , Mn^{7+} . Соединения двухвалентного марганца хорошо растворимы, трехвалентного неустойчивы и не имеют практического значения, соединения трех- и четырехвалентного - нерастворимы и могут быть удалены с помощью фильтров. Производные шести и семивалентного марганца отличаются высокими окислительными свойствами, из них в процессах обработки воды в качестве окислителя используется перманганат калия KMnO_4 .

Марганец, подобно железу, может присутствовать в различных соединениях: в виде бикарбонатов, минеральных и органических комплексах и других формах. В подземных водах Дальнего Востока марганец находится преимущественно в форме двухвалентного иона Mn^{2+} , в результате диссоциации хорошо растворимого бикарбоната $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$. Концентрации его в используемых месторождениях составляют от 0,5 до 5 мг/л. Как правило, марганец в подземных водах присутствует вместе с железом.

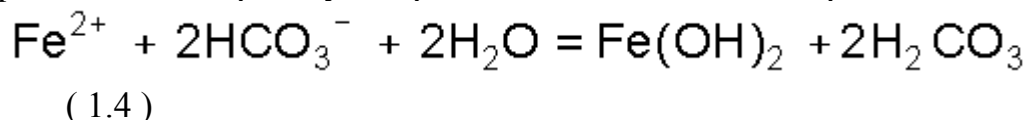
Поверхностные воды практически не меняют своего состава при их транспортировании. При подъеме описанных подземных вод на поверхность и контакте их с воздухом, нарушаются равновесные состояния растворенных

веществ. Из воды выделяется газ - двуокись углерода CO_2 и поглощается кислород воздуха.

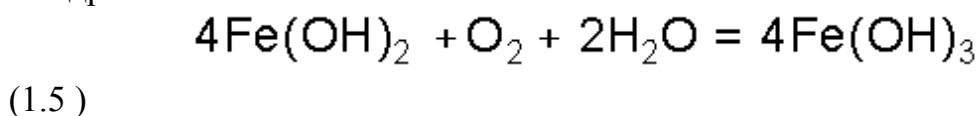
В результате начинается распад бикарбонатов и выделение концентрации растворенной двуокиси углерода, повышается **pH** воды.



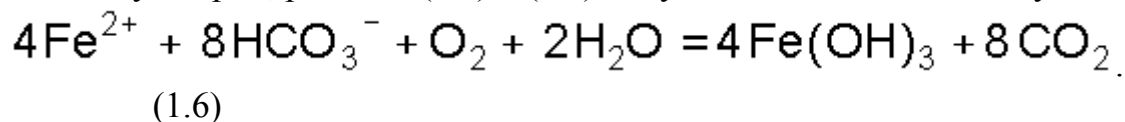
Повышение **pH** и наличие кислорода приводят к процессам окисления железа и марганца и их гидролизу с образованием для железа гидрата закиси:



При введении в подземную воду кислорода, гидрозакись железа превращается в гидроокись:



Или суммарно, реакции (1.4) и (1.5) могут быть записаны в следующем виде:



В зависимости от конкретных окислительно-восстановительных условий, окисление Fe^{2+} может предшествовать гидролизу или идти параллельно с ним. Независимо от того, в какой последовательности протекают реакции окисления и гидролиза, конечным продуктом их всегда является гидроокись железа. В итоге в воде образуются бурые хлопья гидроксидов, придающие ей интенсивную окраску.

Какие проблемы возникают от использования воды с повышенными содержаниями железа и марганца? Насколько такая вода вредна? Рекомендуют же продукты питания богатые железом, особенно людям больным железодефицитной анемией. Но дело в том, что железо и марганец разны. Лучше всего усваивается организмом железо в составе белков гемоглобина и миоглобина, поэтому полезным продуктом для лечения анемии является мясо, поскольку из него усваивается до 22% содержащегося в нем металла, а не загрязненная железом вода.

Двух- и трехвалентное железо, содержащиеся в воде, организмом не усваиваются и являются для него токсичным загрязнением, оказывающим раздражающее действие на слизистые и кожу, вызывающим гемохроматоз и аллергию. Повышенные концентрации железа желательны для некоторых минеральных лечебных вод, но потребление таких вод ограничивается врачом.

Марганец является также токсичным элементом, поражающим центральную нервную систему.

Присутствие железа и марганца ухудшает в первую очередь органолептические показатели воды, она при контакте с воздухом приобретает окраску, мутнеет, становится непригодной для приготовления пищи и стирки белья. При транспортировании железосодержащих вод усиливаются процессы коррозии металлических труб, при питании такой водой котлов образуется

накипь, поэтому содержание железа в воде ограничивается в различных отраслях промышленности.

Отечественным стандартом и санитарными нормами установлены предельно допустимые концентрации в питьевой воде для железа - 0,3 мг/л, для марганца - 0,1 мг/л. Эти значения соответствуют рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, стандартам США и некоторых других стран. Несколько более жесткие нормы приняты в Швеции и в некоторых других странах Европейского сообщества: 0,2 и 0,05 мг/л соответственно.

2. УДАЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ ВОДЫ УПРОЩЕННОЙ АЭРАЦИЕЙ С ФИЛЬТРОВАНИЕМ

2.1. Основы процесса и технологии

Этот метод очистки воды использован на большинстве станций обезжелезивания Дальнего Востока. Технология обработки воды основывается на следующих процессах: аэрация воды (насыщение кислородом воздуха) на простейших устройствах и последующее фильтрование на скорых фильтрах. По конструктивному оформлению фильтры бывают в напорном и безнапорном варианте. Аэрация может осуществляться перед каждым фильтром или в аэрационном устройстве общем для всех фильтров станции. Схема типового фильтра обезжелезивания воды приведена на рис. 2.1.

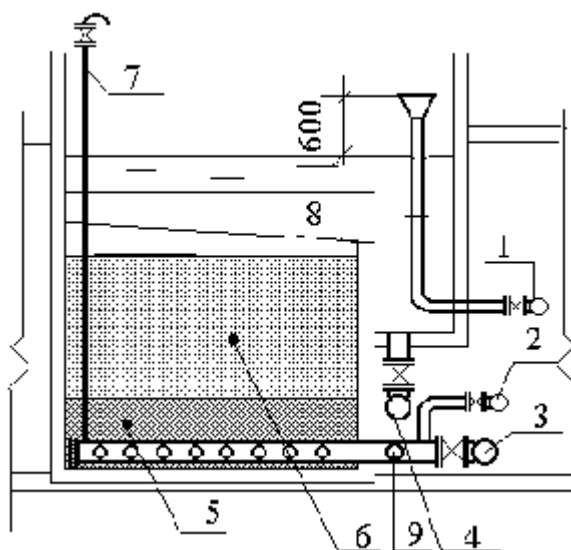


Рис. 2.1. Фильтр обезжелезивания воды: 1 - подача исходной воды; 2 - отвод фильтрата; 3 - подача промывной воды; 4 - отвод промывной воды; 5 - поддерживающие слои фильтра; 6 - фильтрующий материал; 7 - воздушник; 8 - желоб; опорожнение фильтра

Вода в этом фильтре насыщается кислородом воздуха при изливании ее из воронки с высоты 500 - 600 мм. При падении воды с этой высоты концентрация кислорода в ней достигает 5 - 7 мг/л. Одновременно частично удаляется растворенная двуокись углерода. Воронка располагается в кармане фильтра. Кроме схемы подачи воды, фильтр отличается от осветлительных фильтрующей загрузкой.

Параметры загрузки типовых фильтров очистки воды от железа с упрощенной аэрацией приведены в табл. 9.1.

После аэрации начинаются реакции окисления и гидролиза, описанные формулами 1.1 и 1.2. При окислении 1 мг железа выделяется 1,6 мг свободной двуокиси углерода и на 0,043 мг-экв снижается общая щелочность воды. Метод упрощенной аэрации основан на окислении ионов двухвалентного железа в толще загрузки фильтра и задержании образующихся соединений. При этом на зернах фильтрующего слоя одновременно происходят реакции окисления и гидролиза.

Важную роль в процессе задержания играют явления катализа и адсорбции. В результате образуются очень прочные и постоянные связи между сформировавшимися гидроксидами и зернами фильтрующего слоя, что придает процессу фильтрования большую стабильность и независимость от гидродинамических условий. Через определенное время на поверхности зерен загрузки образуется пленка из соединений железа, играющая роль катализатора. Проведенные исследования химического состава пленки показали, что она состоит в основном из двух- и трехвалентного железа. По данным Академии коммунального хозяйства, в пленке присутствует 8 - 10 % закисного железа (при безнапорном фильтровании), 20 - 25 % (при напорном фильтровании) от ее общей массы.

Обезжелезивание воды в загрузке, покрытой пленкой, является гетерогенным автокаталитическим процессом, в результате которого обеспечивается непрерывное обновление пленки как катализатора непосредственно при работе фильтра. Необходимым условием образования и действия пленки является наличие в воде кислорода. При полном отсутствии кислорода процесс прекращается. Достаточная степень обезжелезивания начинается после формирования на зернах загрузки определенной массы каталитической пленки, время формирования этой массы называется временем зарядки фильтра (рис. 2.2).

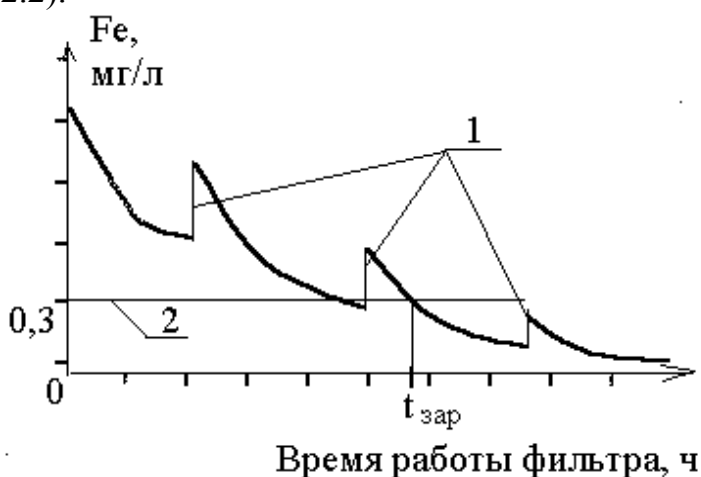


Рис. 2.2. Процесс зарядки фильтра обезжелезивания воды: 1 - моменты промывки фильтра; 2 - нормируемая концентрация

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

$(1 + [\text{Fe}^{2+}]/28)$ мг-экв/л; содержание сероводорода не более 2 мг/л; pH не менее 6.8 [7]. Фильтрация при очистке воды производится обычно сверху вниз.

В качестве загрузки 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.

Для лучшей промывки фильтров обычно применяют водовоздушную промывку с параметрами, указанными в [7].

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

Станции обезжелезивания, выполненные по схеме упрощенной аэрации с фильтрованием, работают в г.г. Находка, Южно-Сахалинск, Корсаков, Благовещенск, Магдагачи, в с. Гаровка Хабаровского края и во многих других населенных пунктах Дальнего Востока.

Однако использование этого метода затруднено при повышенных концентрациях железа в исходной воде или наличии его органических соединений, при низких щелочности и рН 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.

Имеется несколько модификаций технологии обезжелезивания с упрощенной аэрацией. Одна из них сводится к укрупнению зерен загрузки с одновременным увеличением высоты загрузки.

2.2. Применение крупнозернистых фильтров для обезжелезивания воды

Крупнозернистые скорые фильтры применимы не во всех случаях, но если на них достигается эффект очистки, то они имеют значительные преимущества:

- малые потери напора при фильтровании, в результате чего увеличивается длительность работы фильтров между промывками;
- возможность накапливать большую массу загрязняющих веществ, тем самым также увеличивается продолжительность работы фильтров между промывками. Это, в свою очередь, уменьшает затраты на их промывку и обработку промывной воды;
- при достаточно высокой интенсивности промывки фильтров, загрязнения хорошо удаляются из них, так как большая разница в гидравлической крупности частиц загрязнений и зерен загрузки позволяют обеспечить высокую степень их разделения без потерь фильтрующего материала. Особенно это важно при

обезжелезиванию воды, так как при плохой промывке фильтров образуются трудноудаляемые конгломераты соединений железа.

Фильтры с крупнозернистой загрузкой впервые были применены на Украине [12], имеются примеры их работы на Дальнем Востоке при преимущественном содержании железа в бикарбонатной форме и малой концентрации органики в подземной воде.

Наиболее удачный пример использования крупнозернистой загрузки - станция обезжелезивания птицефабрики "Дальневосточная" (г. Хабаровск). На станции производительностью 5 000 м³/сут, работающей по методу упрощенной аэрации и фильтрования, 4 фильтра загружены гранодиоритом крупнозернистым фракции 5 -10 мм на высоту 3,5 м. При содержании железа в исходной воде до 11 мг/л, его концентрация в фильтрате не превышает 0,15 мг/л.

Конструкция фильтра приведена на рис. 2.3. Водовоздушная промывка обеспечивает эффективную регенерацию загрузки такого фильтра.

Продолжительность фильтроцикла здесь примерно вдвое больше, чем в традиционных фильтрах.

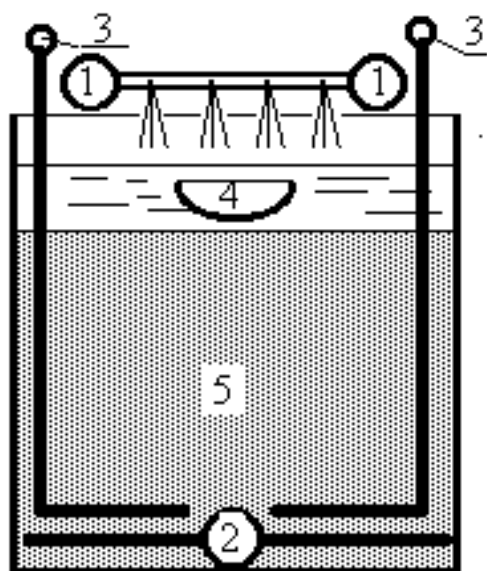


Рис. 2.3. Фильтр с крупнозернистой загрузкой и водовоздушной промывкой: 1 - подача сырой воды; 2 - дренаж; 3 - подача воздуха; 4 - желоб; 5 - фильтрующий материал

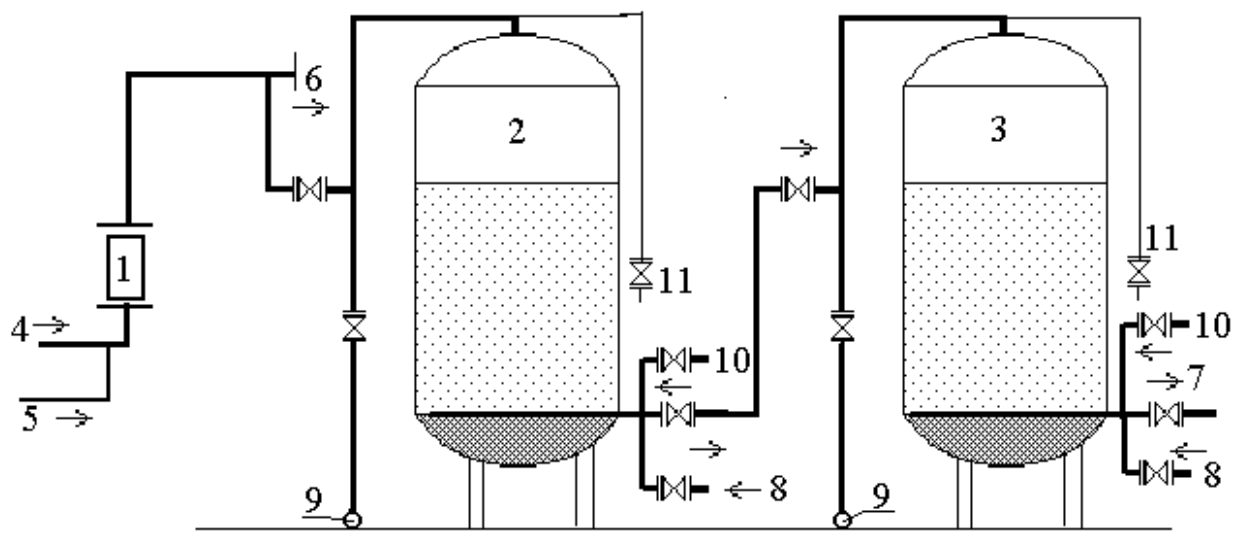
2.3 Обезжелезивание воды в напорных фильтрах

При производительности до 5000 м³/сут часто применяют обезжелезивание воды в напорных фильтрах заводского изготовления. С этой целью используют механические фильтры обычного исполнения [9 -11], данные по которым приведены в разделе 9.2.

При применении этого метода очистки вода аэрируется в напорном смесителе в трубопровод перед которым подается воздух от компрессора. Рекомендуемый расход воздуха для окисления железа составляет 2 дм³ на 1 г закисного железа. Воздух подается от компрессора через ресивер с давлением на 10 - 15 % превышающем давление подаваемой воды. Для поддержания постоянства давления на трубопроводе перед смесителем устанавливается редукционный клапан. К верхней части фильтра подключается воздушная трубка для сброса

воздуха и выделяющейся двуокиси углерода, при эксплуатации вентиль на ней постоянно открыт.

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. Технологическая схема очистки воды по этому методу



приведена на рис. 2.4.

Рис. 2.4. Принципиальная схема обезжелезивания воды фильтрованием в двух ступенях напорных фильтров: 1 - смеситель воды и воздуха; 2 - фильтр первой ступени; 3 - то же второй ступени; 4 - подача воды от водозабора; 5 - сжатый воздух от ресивера; 6 - поток воды на параллельные фильтры; 7 - очищенная вода; 8 - подача воды на промывку фильтра; 9 - отвод промывных вод; 10 - воздух; 11 - воздушная трубка

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.

Параметры работы напорных фильтров аналогичны параметрам открытых фильтров (табл. 2.1). Напорные фильтры, по сравнению с открытыми, быстрее монтируются и имеют более качественное исполнение, так как изготавливаются в заводских условиях.

Обезжелезивание воды в напорных фильтрах применяется на многих станциях и населенных пунктах Дальнего Востока: г. Спасск-Дальний, пос. Приамурский ЕАО, ст. Аур, ст. Комсомольск-Сортировочная, с. Черная речка, Хабаровский судостроительный завод и в других местах. Например, успешное обезжелезивание достигается на установке производительностью $1600 \text{ м}^3/\text{сут}$ в пос. Приамурский. Установка состоит из двух контактных фильтров диаметром 2.0 м и двух осветлительных диаметром 2.6 м. Рабочие скорости фильтрования в контактных фильтрах - 6.4 м/ч, в осветлительных - 4 м/ч. Обе ступени фильтров загружены песком гранодиоритовым с диаметром зерен 0.8 - 2. 0 мм и высотой 1000 мм. Промывка фильтров - водовоздушная. Исходная вода имеет следующий состав $\text{pH} = 5.5$, $\text{Eh} = 68 \text{ мВ}$, $\text{Fe}^{2+} = 20 \text{ мг/л}$, $\text{Mn} = 0.6 \text{ мг/л}$, $\text{CO}_2 = 70 \text{ мг/л}$. Станция обеспечивает очистку воды по железу до 0,02 мг/л, а по марганцу до 0,4 - 0,45 мг/л.

Многие фирмы в России и за рубежом поставляют комплектно-блочные установки обезжелезивания воды в напорных фильтрах. В этом случае станция состоит из нескольких быстровозводимых блоков, представляющих контейнеры со смонтированным технологическим оборудованием и трубопроводами. Вес таких блоков может колебаться от десятков тонн, при транспорте их самолетом или поездом, до тысяч тонн - при транспорте водным путем. После доставки на место строительства остается смонтировать блоки между собой и подключить к внешним коммуникациям. Комплектно-блочный метод строительства получил распространение в поселках нефтегазового комплекса Западной Сибири.

2.4. Обезжелезивание в двух ступенях открытых фильтров

При содержании железа в пределах 10 - 15 мг/л и pH не менее 6.3 - 6.4 более надежное обезжелезивание достигается упрощенной аэрацией и фильтрованием через две ступени открытых фильтров. 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. Такая схема двухступенчатого фильтрования позволяет обеспечить более компактную высотную компоновку здания. Принципиальная схема этого метода обезжелезивания приведена на рис. [2.5](#).

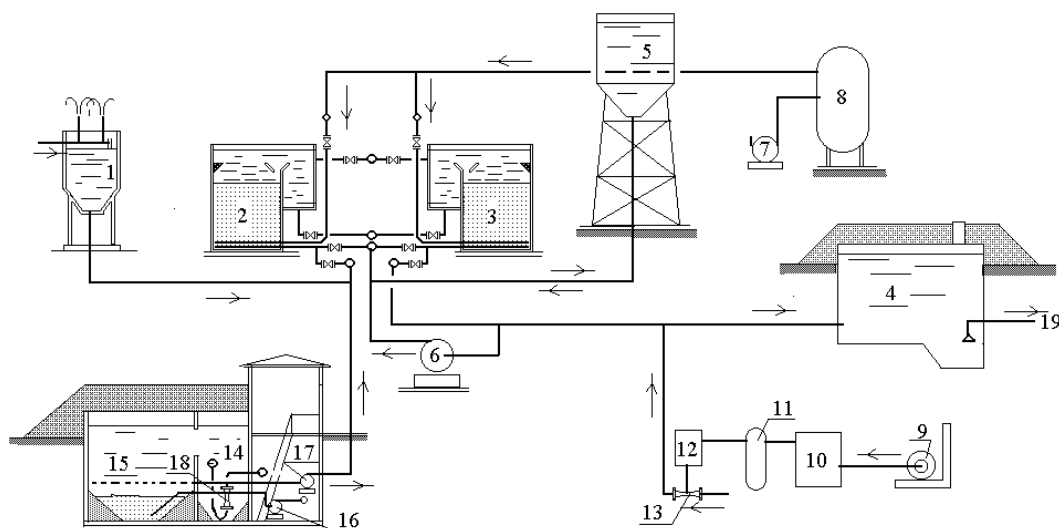


Рис. 2.5. Технологическая схема обезжелезивания воды на двух ступенях фильтров: 1 - аэратор; 2, 3 - фильтры первой и второй ступени; 4 - резервуар чистой воды; 5 - башня промывки фильтров; 6 - насос подкачки промывной воды; 7 - компрессор; 8 - ресивер; 9 - баллон с хлором; 10 - испаритель; 11 - промежуточный баллон; 12 - дозатор хлора; 13 - эжектор; 14 - песколовка; 15 - резервуар-отстойник промывной воды; 16 - шламочасос; 17 - насос перекачки отстойной воды; 18 - гидроэлеватор; 19 - к насосной станции

В этой схеме вода из скважин подается в аэрационный бассейн **1**, где вода насыщается кислородом и из нее частично удаляется двуокись углерода.

Из бассейна вода поступает на фильтры первой ступени **2**, по конструкции аналогичных контактными осветлителями. Движение воды в фильтре направлено снизу-вверх. Показанный на схеме фильтр выполнен с водовоздушной промывкой и низким отводом промывной воды.

Далее частично очищенная вода поступает на фильтр второй ступени **3**. Этот фильтр по конструкции аналогичен фильтру **2**, но отличается от него загрузкой и параметрами фильтрования, принимаемыми по [7] или по табл. 9.1.

Применение водовоздушной промывки и низкого отвода промывной воды обеспечивает эффективную отмывку загрузки при относительно малом расходе промывной воды.

Фильтрованная вода обеззараживается и отводится в резервуар чистой воды **4**. Для промывки фильтров используется водонапорная башня **5**, подкачка воды в башню производится насосом **6**. Подача воздуха для промывки фильтров производится компрессором **7** через ресивер **8**. На схеме показано оборудование для обеззараживания воды хлором **9, 10, 11, 12, 13**. Промывные воды фильтров через песколовку **14** подаются в резервуар-отстойник **15**. Из резервуара **15** отстойная вода насосом **17** перекачивается в голову сооружений.

Песок из песколовки с помощью гидроэлеватора удаляется на песковую площадку, насос **16** перекачивает шлам из отстойника на сооружения его обезвоживания.

3. БЕЗРЕАГЕНТНЫЕ СХЕМЫ УДАЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСИЛЕННОЙ АЭРАЦИИ

Нормами [7] упрощенная аэрация рекомендуется при значении рН исходной воды более 6,8. При меньших значениях рН, а также при больших концентрациях двуокиси углерода или сероводорода, целесообразно применять усиленную аэрацию в специальных сооружениях. 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 гидроокиси железа подается на фильтры.

Принципиальная схема обезжелезивания воды с аэрацией в градирне приведена на рис. 3.1. По этому принципу работает установка обезжелезивания воды на станции Дземги ДВ ж.д.

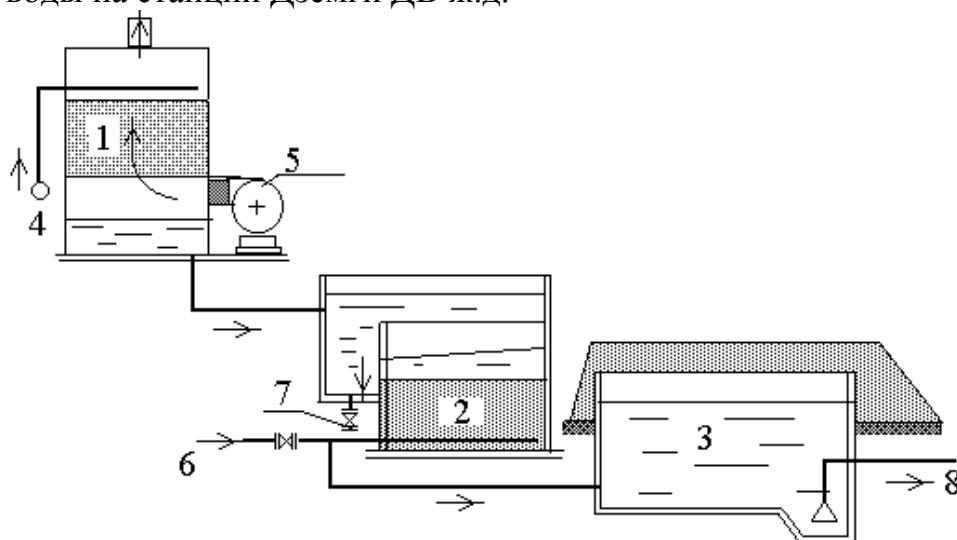


Рис. 3.1.
Очистка подземных вод фильтрованием с предварительной усиленной аэрацией: 1 - градирня-дегазатор; 2 - скорый фильтр; 3 - резервуар чистой воды; 4 - от скважин; 5 -

вентилятор; 6- подача промывной воды; 7 - сброс промывной воды; 8 - к насосной станции второго подъема

На рис. 3.1. приведена схема с аэрацией в вентиляторной градирне. Она позволяет снизить содержание двуокиси углерода в воде до концентрации 8 - 10 мг/л.

Если не требуется глубокое удаление двуокиси углерода из воды для аэрации используются брызгальные установки, позволяющие снизить концентрацию двуокиси углерода на 60 - 70%. Они могут располагаться над резервуаром, тогда они конструируются как брызгальные бассейны, над фильтрами или его центральным каналом.

Очень глубокое удаление двуокиси углерода достигается в вакуумно-эжекционных декарбонизаторах (ВЭД), остаточное содержание ее в воде после установки составляет 3 -5 мг/л.

Глубокая аэрация в ВЭД с последующим фильтрованием на скорых фильтрах впервые было применено в Волгоградской области. В этих аппаратах 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. Подробные описания и выбор типа аэрационного устройства приведены в разделе 9.1.

4. РЕАГЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

Реагентные методы очистки воды от растворенного железа применяются в случаях, когда при опытном обезжелезивании аэрационными методами не удается достигнуть требуемого эффекта. Обычно это происходит при больших концентрациях железа и присутствия его в трудноокисляемых формах. Реагенты в обрабатываемую воду вводятся с целью повышения **pH** и, тем самым, ускорения гидролиза железа и хлопьеобразования, коагуляции хлопьев, окисления закиси железа. Как правило, в реагентных методах обезжелезивания применяется и аэрация, так как в этом случае уменьшается расход реагентов для подщелачивания и окисления. Для подщелачивания воды наиболее эффективно применение извести, для окисления железа - хлора или озона.

Так как в реагентных методах очистки образуется большая концентрация взвешенных форм железа, то, как правило, при применении этих схем проектируется две ступени осветления воды: отстойники - фильтры или осветлители - фильтры.

На рис. 4.1 приведена традиционная схема обезжелезивания воды с применением реагентов. В предложенной схеме вода аэрируется на вентиляторной градирне **1**, здесь же удаляется основная масса свободной двуокиси углерода. Далее перед отстойником в воду вводится известковое молоко. Образующаяся взвесь удаляется в отстойнике **9** и фильтре **8**. При необходимости, кроме извести в воду вводится и коагулянт.

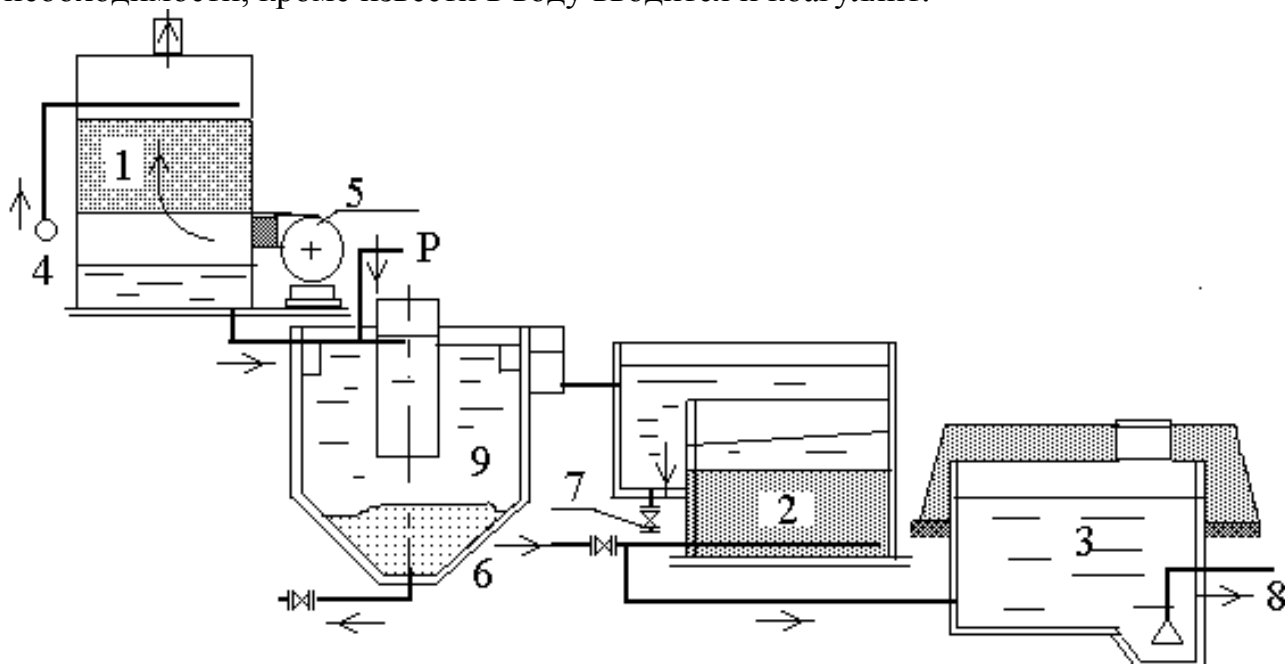


Рис. 4.1. Очистка воды от железа аэрацией с известкованием: 1 - 8 - см. надписи к рис. 3.1; 9 - вертикальный отстойник; Р - ввод реагента

По описанной технологии работала Южная водопроводная станция г. Хабаровска, закрытая вследствие малой производительности.

Для малых водопроводов НИИ КВОВ рекомендует метод обезжелезивания воды с известкованием осуществлять в установках заводского изготовления "Струя" или "Влага", с дозой извести до 50 мг/л.

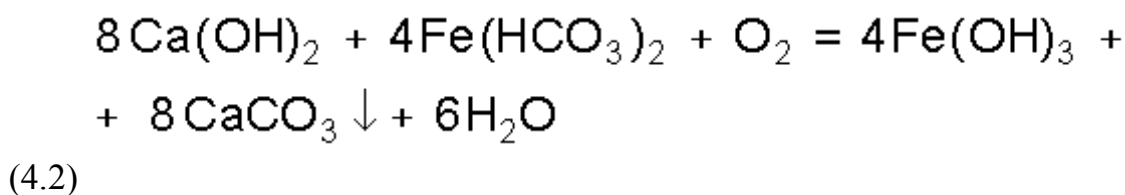
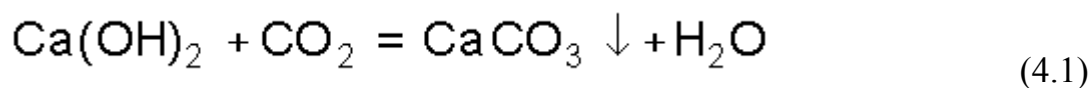
На рис. 4.2 приведен другой вариант технологии обезжелезивания воды с применением реагентов. По этой технологии работает водопроводная станция авиационного завода в г. Комсомольске-на-Амуре производительностью 12500 м³/сут. Исходная вода имеет следующие показатели качества: температура 9 - 11 °С; щелочность 1.3 - 1.4 мг-экв/л; железо 12 - 15 мг/л; марганец 4 - 5 мг/л; рН = 6.1 - 6.3; жесткость 0.8 - 0.9 мг-экв/л; аммоний солевой 1.6 - 2.8 мг/л. Только аэрационными методами очистить эту воду не удалось, поэтому была принята нижеописанная технология.

Вода от скважин подается в смеситель **1**, туда же от компрессора **6** подается воздух для окисления железа. Предусмотрено оборудование для ввода извести "И" и полиакриламида "ПАА". Далее вода последовательно пропускается через осветлитель коридорного типа со взвешенным слоем осадка **2**, скорый фильтр **3** и отводится в резервуар чистой воды **4**. Промывка фильтров производится от насосов **7**.

Промывные воды фильтров и шлам с осветлителей отводятся в емкости **5**, после чего равномерно насосами **9** подаются на фильтр-прессы **8**. Фильтрат фильтр-прессов имеет низкое содержание загрязнений, поэтому он отводится в резервуар чистой воды. Шлам с фильтр-прессов вывозится на полигон отходов.

На станции установлены 4 скорых фильтра размером в плане 5 х 6 м. В качестве фильтрующей загрузки используется песок гранодиоритовый диаметром зерен 0.7 - 2.0 мм и высотой слоя 1900 мм. Дренаж фильтров - трубчатый, с круглыми отверстиями. Для поддерживающих слоев используется щебень гранодиоритовый фракциями от 2 до 40 мм.

Выбор аэрационных устройств производится в результате технико-экономического сравнения вариантов. Чем совершенней аэратор, тем меньше будет расход извести на нейтрализацию растворенного диоксида углерода. При аэрации и известковании подземных вод протекают реакции:



Вместо извести возможно применение соды Na_2CO_3 , но затраты на реагенты будут значительно большими. Ориентировочные дозы извести $D_{\text{и}}$ (в расчете на CaO) или соды $D_{\text{с}}$, мг/л, определяются по формулам

$$D_{\text{и}} = 0,8 [\text{CO}_2] + 1,8 [\text{Fe}^{2+}], \quad D_{\text{с}} = 2,5 [\text{CO}_2] + 4 [\text{Fe}^{2+}] \quad (4.3)$$

Высокая стоимость хорошей извести на Дальнем Востоке затрудняет эксплуатацию станций обезжелезивания с известкованием воды.

Кислород воздуха является слабым окислителем, поэтому при присутствии трудноокисляемых форм железа или наличия в воде органических соединений применяют более эффективные реагенты-окислители: хлор Cl_2 , озон O_3 , перманганат калия KMnO_4 .

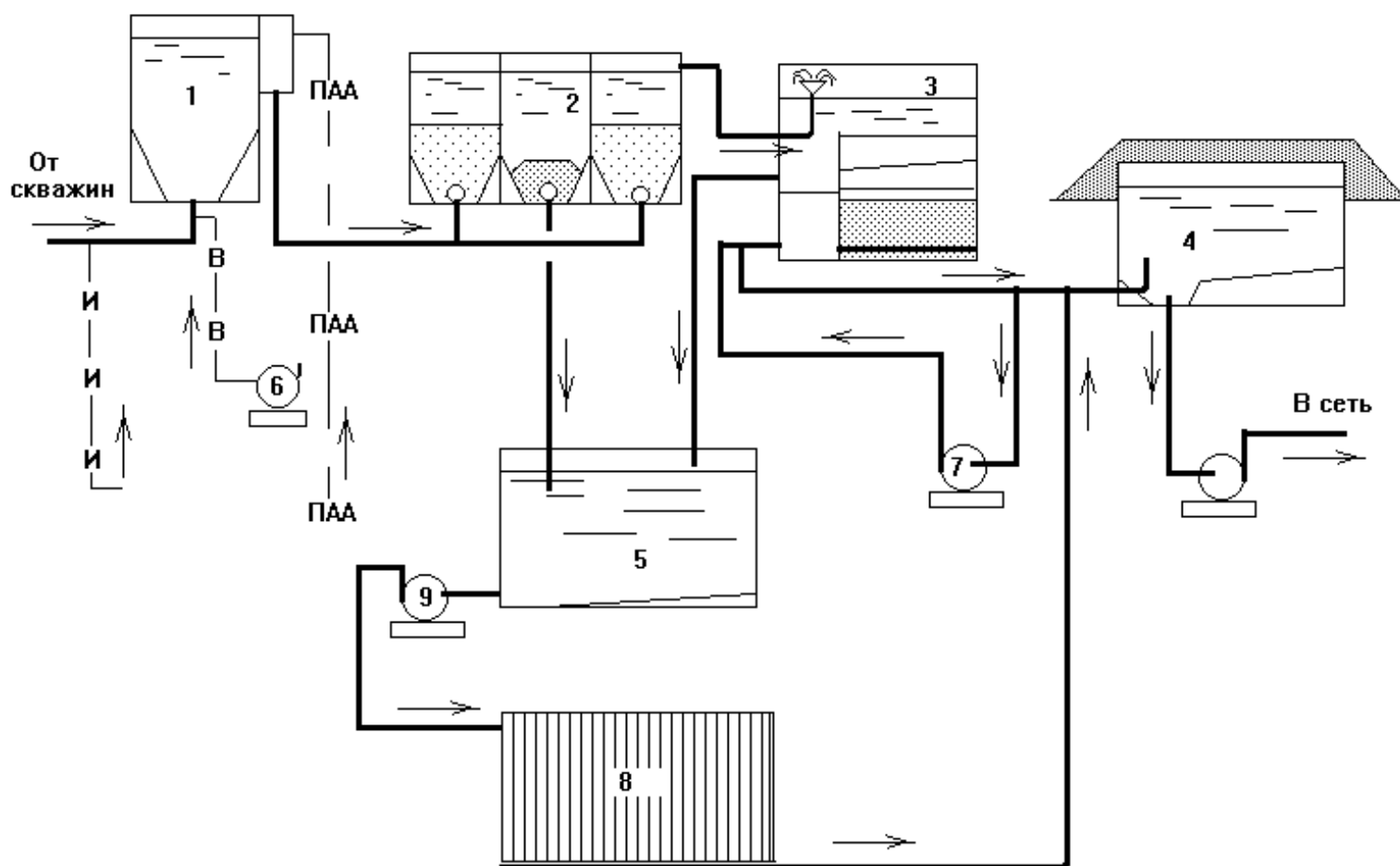


Рис. 4.2. Технологическая схема станции обезжелезивания подземных вод с применением осветлителей

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



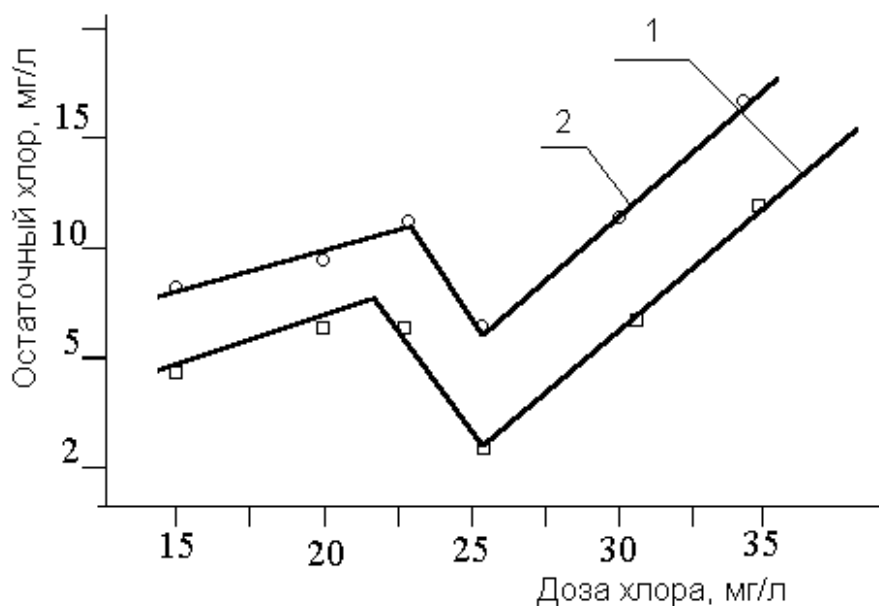
При хлорировании, аэрацию воды обычно не проводят. Теоретический расход хлора составляет 0,64 мг на 1 мг Fe^{2+} . В действительности доза может быть в 2 - 5 раз выше, она зависит от **pH**, времени контакта, наличия в воде других окисляемых веществ и других факторов. На практике дозу хлора определяют по данным опытного фильтрования и построения кривой хлоропоглощаемости. Остаточный хлор определяют в очищенной воде. На рис. 4.3 показан пример построения такой кривой для водозабора в пригороде г. Хабаровска. В воде водозабора содержится $\text{Fe}^{2+} = 13$ мг/л; $\text{Mn}^{2+} = 0,4$ мг/л; $\text{NH}_4^+ = 3,4$ мг/л; **pH** = 6,8.

Доза хлора, в рассматриваемом примере, выбирается за переломом кривой хлоропоглощаемости и равна 29 мг/л, то есть в 3,5 раза больше, чем по стехиометрическому расчету. Перелом в кривой наблюдается при совместном присутствии железа и марганца, а также при наличии комплексных соединений железа.

Процесс обезжелезивания воды хлорированием проводят фильтрованием в открытых или напорных фильтрах (см. рис. 2.1 и 2.6), но вместо воздуха перед фильтрами вводят хлор. При вводе избытка хлора, перед резервуаром чистой воды требуется подача нейтрализующих хлор веществ: бисульфита натрия

N_2SO_3 или сернистого газа SO_2 .

Рис. 4.3. Кривая хлоропоглощаемости на водозаборе Федоровский: 1 - концентрация общего хлора; 2 - концентрация свободного хлора



Ввод реагентов-окислителей используется в

установках и технологиях поставляемых компанией Filtronics, Inc (США). Принципиальная схема очистки воды в системе Filtronics Elektromedia приведена на рис. 4.4. Как видно из схемы, вода движется по емкостям

находящимися под давлением, что позволяет установить их на одной отметке. Давление создается насосом скважины.

Нейтрализация избытка хлора производится до фильтра или после него, для чего сооружения обвязываются соответствующими трубопроводами. Очередность нейтрализации зависит от качества природной воды, особенно от наличия органики. При наличии трудноокисляемых и органических загрязнений, желателен более длительный контакт воды с окислителями, поэтому ввод нейтрализаторов предусматривают после фильтра. Промывка фильтров производится очищенной водой из резервуара чистой воды. Применяется автоматическое или ручное управление установкой.

По данным компании Filtronics, Inc, работа таких установок в Канаде характеризуется показателями, приведенными в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Показатели работы установок в Канаде

Качество исходной воды, мг/л		Доза хлора, мг/л	Скорость фильтрования	
Железо	Марганец		Gpm/Ft ²	м/ч
<1	<1	3.0	15	36.6
<2	<2	3 - 5	10	24.4
2 - 7	<3	5 - 7	5	12.2
>7	<3	12 - 15	<5	<12.2

Для ориентировки в американских единицах измерения, скорость фильтрования приведена также в галлонах в минуту на квадратный фут (Gpm/Ft²). По сведениям от специалистов компании установки Filtronics Elektromedia работают в городах штата Калифорния: Ventura - 4.5 миллиона галлонов в сутки (710 м³/ч), Vanderberg -1500 gpm (340 м³/ч), в г. Гуамас (Мексика) и в других пунктах. В г. Гуамасе работает 10 скважин, содержание железа в подземной воде до 1,0 мг/л, марганца до 0,7 мг/л. После установки содержание железа и марганца менее 0,01 мг/л. Стоимость обработки воды \$ 0.01/м³.

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

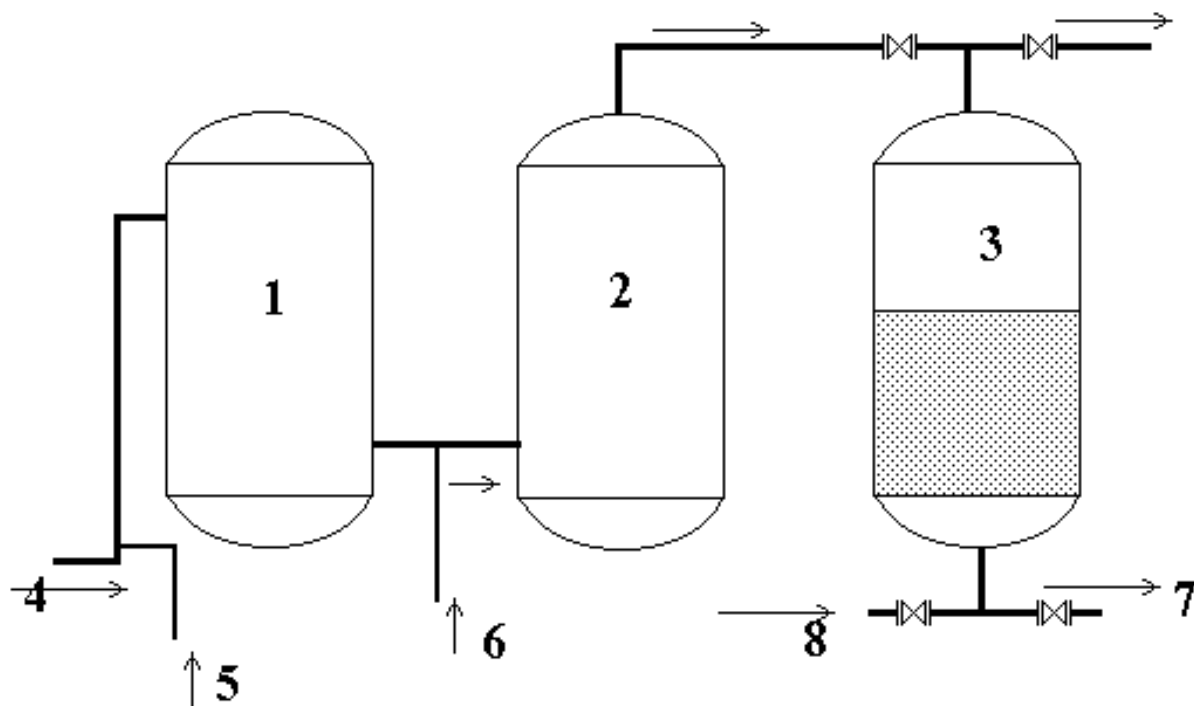


Рис.4.4. Принципиальная схема обезжелезивания и деманганации в системе Filtronics Elektromedia: 1 - контактная камера окисления; 2 - контактная камера нейтрализации избытка хлора; 3 - фильтр; 4 - подача воды от скважин; 5 - ввод хлора; 6 - ввод реагента для нейтрализации хлора; 7 - отвод очищенной воды в резервуар; 8 - подача промывной воды

В проспекте фирмы указывается возможная производительность системы Filtronics Elektromedia до 2300 gpm (522 м³/ч) и скорость фильтрования до 36 м/ч. Потери давления в фильтрах составляют около 0,083 МПа (8 м вод. ст.). Стоимость оборудования Filtronics Elektromedia производительностью 1000 м³/сутки без резервуаров составляет \$ 400.000 по состоянию цен на 1997 г.

Анализ технологии Filtronics для условий Хабаровского края показал экономическую целесообразность его применения только для небольших

установок производительностью до 100 - 200 м³/сут, так как технология требует большого расхода реагентов, а обработанная вода имеет высокую коррозионную активность.

5. ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ МАРГАНЦА

Как уже было отмечено в разделе 1, марганец окисляется в зоне более высоких значений рН и окислительно-восстановительного потенциалов. Еще Eh. E. Nordell (1955) отмечал, что в отличие от бикарбоната железа, окисление которого кислородом воздуха происходит удовлетворительно уже при **рН** = 7, оптимальной величиной для окисления бикарбоната марганца является **рН** = 10. Более низкие значения рН могут поддерживаться только при применении более энергичных окислителей (хлора, озона и др.) с большим избытком их в реакции.

Железо и марганец в подземных водах Дальнего Востока, как уже было отмечено, обычно присутствуют совместно, но 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.

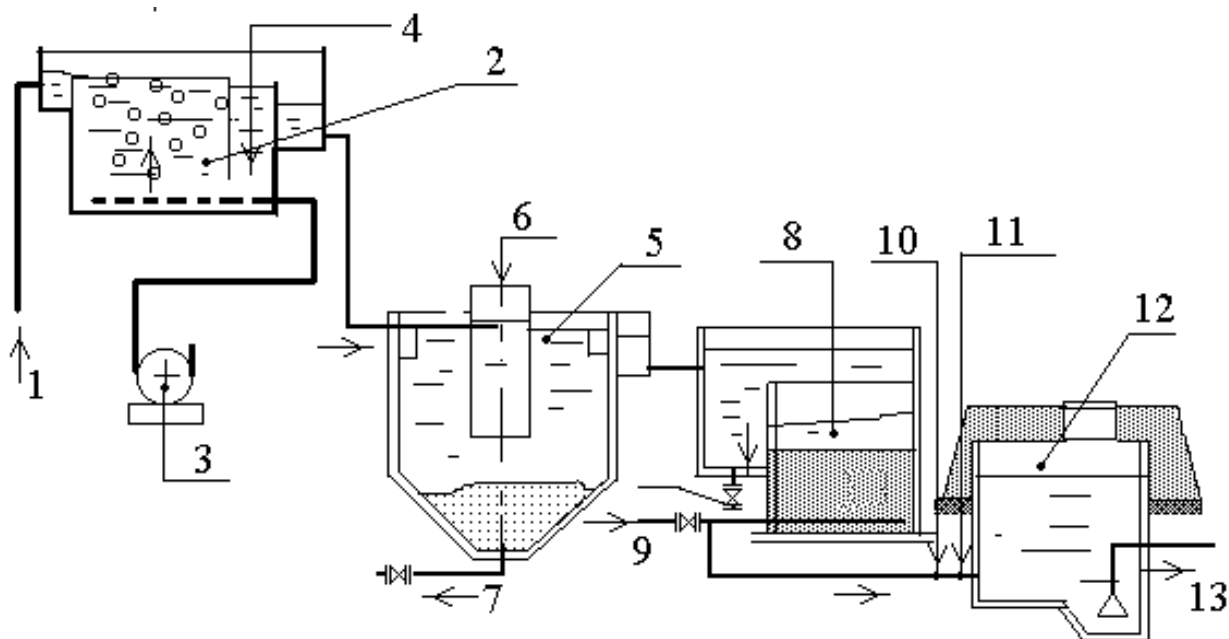
Рекомендации норм [7] по удалению марганца непосредственно в процессе обезжелезивания без дополнительного применения реагентов сильно устарели и не отвечают современным представлениям о технологии описываемых процессов.

В зависимости от концентрации загрязнителей воды, производительности станции и местных условий возможно применение различных схем очистки воды от марганца или от железа и марганца совместно. Ниже описаны самые известные из этих схем.

Окисление кислородом воздуха с подщелачиванием рекомендуется к применению при одновременном присутствии в воде железа и марганца [11, 13]. По этой технологии исходная вода аэрируется в достаточно совершенном сооружении: градирне-дегазаторе, аэрационном бассейне и т.п. При аэрации из воды удаляется значительная часть свободной двуокиси углерода **СО₂** и повышается **рН**. Дальнейшее повышение **рН** производится введением щелочи (извести или соды). Очистка воды производится в одной ступени фильтров, при концентрации загрязнений до 3 - 5 мг/л, или в двух ступенях сооружений, при больших концентрациях загрязнителя. Очистка воды может быть в напорных или открытых сооружениях. В двухступенных схемах очистки воды иногда требуется применение коагулянта и флокулянта для осаждения образующейся взвеси. При использовании воды для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения в воду перед резервуаром чистой воды вводят хлор для обеззараживания и раствор кислоты для коррекции рН. Из больших городов мира, очистка подземных вод от железа и марганца аэрационными методами производится в Гамбурге и Копенгагене [14].

В Гамбурге вода содержит, в среднем, около 3 мг/л железа и марганец. От вод Дальневосточного региона она отличается высокой щелочностью (до 5,6 мг-экв/л) и жесткостью (до 6,7 мг-экв/л). Вода очищается на 20 водоочистных станциях с применением аэрации и двухступенчатого фильтрования при последовательном удалении железа и марганца. В Копенгагене применяется та же схема очистки при концентрации железа от 0,6 до 4,9 мг/л, марганца от 0,01 до 0,16 мг/л и щелочности до 6,5 мг-экв/л.

Один из вариантов очистки воды одновременно от железа и марганца



аэрацией с подщелачиванием приведен на рис. 5.1.

Рис. 5.1. Очистка подземных вод от железа и марганца в открытых сооружениях аэрацией с подщелачиванием: 1 - исходная вода; 2 - аэрационный бассейн; 3 - воздуходувка; 4 - ввод щелочи и коагулянта; 5 - отстойник; 6 - ввод флокулянта; 7- сброс осадка; 8 - фильтр; 9 - промывная вода; 10 - хлор; 11 - кислота; 12 - резервуар чистой воды; 13 - к насосной станции перекачки воды потребителю

Возможно также применение схем очистки воды с набором сооружений, приведенным на рис. 3.1 и 4.1, с дополнительным вводом реагентов после аэрации воды.

Для успешного протекания процесса окисления железа и марганца требуются значения **pH** до 10,0 - 11,5. При таких значениях **pH** марганец окисляется в течение 10 - 15 мин и происходит умягчение воды с образованием взвесей **CaCO₃** и **Mg(OH)₂**. Кроме того нейтрализуется **CO₂** с образованием взвеси **CaCO₃** и образуются хлопья нерастворимых соединений железа и марганца. При преимущественном присутствии в воде карбонатной жесткости, ориентировочную суммарную дозу извести **D_и**, мг/л **CaO**, для завершения реакций нейтрализации, умягчения и гидролиза можно определить по формуле

$$D_k = 28 \left(\frac{CO_2}{22} + Ж_k + \frac{Fe}{19} + \frac{Mn}{14} + \frac{D_k}{e_k} + 0,3 \right) \quad (5.1)$$

где **(CO₂)**, **Fe**, **Mn** - концентрации соответствующих веществ в воде после аэрационных сооружений, мг/л; **Ж_к** - концентрация карбонатной жесткости, мг-экв/л; **D_к** и **e_к** - доза коагулянта, мг/л и его эквивалентная масса (для **FeSO₄ - 76**); 0,3 - избыток в реакции.

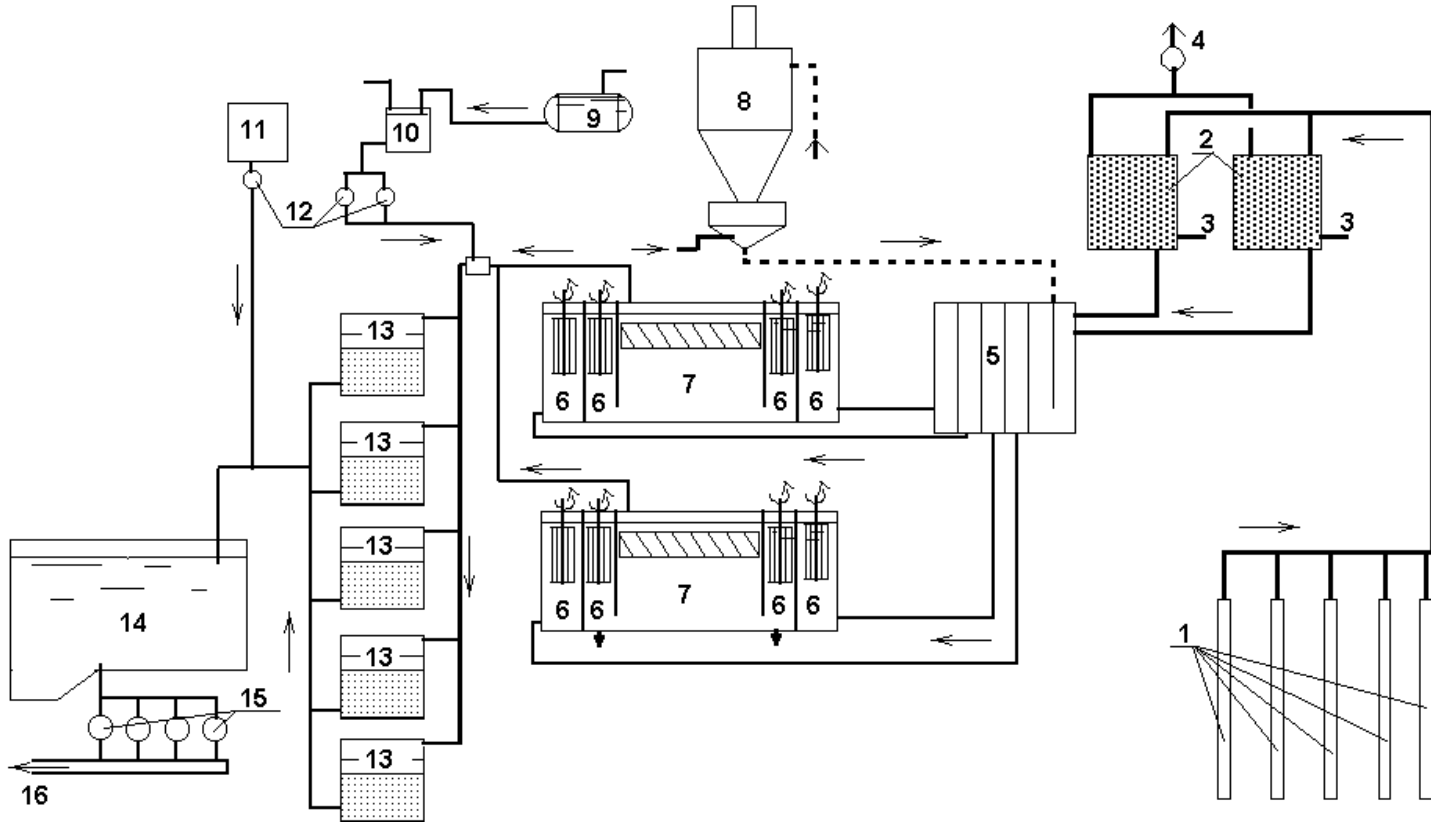
Формула для определения количества взвеси, мг/л, образующейся в процессе вышеописанных реакций, имеет вид

$$M = 50 \frac{CO_2}{22} + 100 \frac{HCO_3^-}{61} + (1 - B) D_{и}, \quad (5.2)$$

где **CO₂** и **HCO₃⁻** - содержание двуокси углерода и бикарбонат ионов, мг/л; **B** - доля активной части в извести.

Расчетные дозы коагулянта и полиакриламида принимают, в зависимости от концентрации взвешенных веществ **M**, по нормам [7, п. 6.17].

На [рис. 5.2](#)

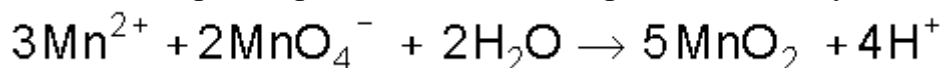


приведена схема станции очистки подземной воды от совместного присутствия железа и марганца с применением известкования в г. Миккеле (Финляндия). Схема и сведения о ней представлены главным технологом Хабаровского горводоканала Киреевым Г.А, изучавшим водопроводно-канализационное хозяйство г. Миккеле.

На этой станции вода от скважин **1** подается в аэраторы **2**, в нижнюю часть которых подается воздух **3**. Здесь вода насыщается кислородом и из нее удаляется CO_2 по трубопроводу **4**. Далее поток воды подается в смеситель **5**, отсюда в механические камеры реакции **6** и отстойник с тонкослойными модулями **7**. В смеситель подается известковое молоко от оборудования для его приготовления **8**. Здесь **pH** воды поднимается до 10,0. После отстойника для снижения **pH** воды до нормируемого значения в воду подается раствор серной кислоты H_2SO_4 . Для ее приготовления имеется соответствующее оборудование: цистерна-хранилище **9** и расходный бак **10**. Для обеззараживания воды применяется гипохлорит натрия Na OCl , хранящийся в баке **11**. Реагенты подаются в обрабатываемую воду с помощью насосов **12**. После отстойников вода окончательно очищается в скорых фильтрах **13** и отводится в резервуар чистой воды **14**, откуда насосной станцией второго подъема **15**, подается в водоводы **16**.

Эффективным способом повышения степени извлечения марганца является *применение активных углей*. Поэтому при очистке воды сложного состава, применяют ввод порошкообразного активного угля перед отстойниками или фильтрами. Адсорбционная емкость активного угля составляет до 5 мг **Mn** на 1 г адсорбента. Более или менее точные дозы и места ввода реагентов можно определить только в результате опытной очистки воды на моделях и при наладке сооружений. Поэтому в проектах предусматривают ввод реагентов в различные точки технологического процесса, что позволяет более успешно управлять технологией очистки воды

Применение перманганата калия является достаточно эффективным способом деманганации воды фильтрованием. В обрабатываемой воде он окисляет Mn^{2+} до нерастворимого диоксида марганца по следующей реакции:



(5.3)

В соответствии с этой реакцией теоретическая 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.

Очистка воды может проходить в напорных и открытых сооружениях. Состав сооружений для проведения этим методом обезжелезивания и деманганации воды аналогичен приведенным на рис. 3.1, 4.1, 6.1, изменяется только состав реагентов.

При очистке воды с применением перманганатом калия только от марганца, возможно отказаться от аэрации и проводить процесс на одной или двух ступенях фильтров (рис. 5.3). В процессе очистки воды от марганца фильтрующая загрузка покрывается пленкой соединения марганца (созревание фильтра), играющей роль катализатора. Через некоторое время эта пленка способна отставать от поверхности зерен, что приводит к загрязнению фильтрата.

Поэтому регенерация фильтра должна быть такой, чтобы не образовывалась пленка значительной толщины.

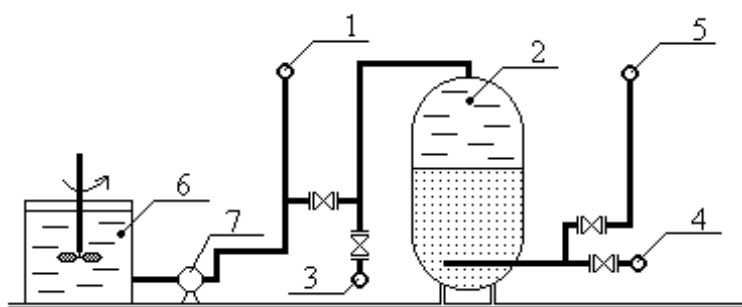


Рис. 5.3. Деманганация подземных вод окислением перманганатом калия: 1 - исходная вода; 2 - напорный фильтр; 3, 4 - сброс и подача промывных вод; 5 - фильтрат; 6 - раствор перманганата

калия; 7 - насос-дозатор

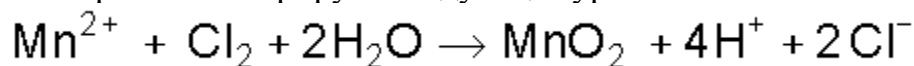
Для интенсификации процесса деманганации воды используют *фильтрование через загрузки, обладающие каталитическими свойствами к окислению марганца*. С этой целью предложено фильтрование воды через природные минералы, в частности глауконит, обладающий ионообменными свойствами и

пирролюзит, в качестве катализатора процесса. В этом методе рекомендуется для усиления окислительно-восстановительных свойств материала периодическая обработка его раствором перманганата калия или постоянное дозирование его в обрабатываемую воду. По литературным данным в этом случае удастся снизить железо до 0.1 мг/л, марганца до 0.01 мг/л.

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. Активная пленка на поверхности "черного" песка содержит до 72.45 % двуокиси марганца, 2.84 % окиси марганца, 2.33 % закиси марганца и 7.8 % окиси калия [10]. Показано, что окисление Mn^{2+} растворенным в воде кислородом осуществляется путем гетерогенной автокаталитической реакции, в ходе которой кислород адсорбированный на катализаторе Mn_3O_4 реагирует в ионной форме с ионами марганца находящимися в растворе. В результате железо и марганец окисляются в соответствующие гидроокиси. Обменная способность этого материала по отношению к железу и марганцу составляет около 1500 г/м^3 . Скорость фильтрования через "черный" песок устанавливают не более 8 м/ч. Этот способ имеет крайне ограниченное применение и возможен в случае содержания железа и марганца не более 1 мг/л. Установки на Дальнем Востоке, где ранее использовалась эта технология, реконструированы вследствие того, что на них не удавалось достигнуть требуемого эффекта очистки воды.

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.

Очистка подземных вод от марганца хлорированием применяется достаточно часто. В России для этой цели наиболее часто используется жидкий хлор, но возможно и применение других хлорсодержащих реагентов: гипохлорит натрия $NaClO$ и кальция $Ca(ClO)_2$, диоксид хлора ClO_2 . Реакцию взаимодействия марганца с хлором иллюстрирует следующее уравнение



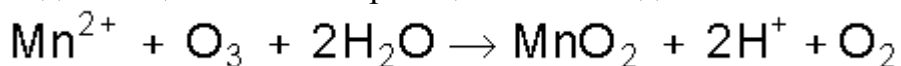
(5.4)

Из уравнения видно, что скорость протекания реакции сильно зависит от pH воды (концентрации ионов водорода H^+). Поэтому при хлорировании необходимо повышать pH воды до 8 - 9.

Стехиометрический расход хлора на окисление 1 мг Mn^{2+} составляет 1,3 мг. Избежать подщелачивания возможно при применении технологии Filtronics. С этой целью в значительной мере, по сравнению со стехиометрическим расчетом, увеличивается доза хлора, выбираемая за точкой перелома в графике на рис. 4.3. Состав сооружений в этом случае аналогичен приведенному на рис. 4.6. В этом случае происходит совместное удаление железа и марганца.

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 не применяется.

Окисление марганца озоном наиболее эффективный способ очистки подземных вод. Реакция озона с марганцем имеет вид



(5.5)

Расчетный расход озона составляет 0.87 мг на 1 мг Mn^{2+} . На практике, для проведения успешной очистки воды, он должен быть в 1.5-5 раз выше. Практическая скорость очистки и доза озона может быть определена только экспериментально. 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.

В пос. Новый Ургал Хабаровского края имеется единственная в азиатской части России станция очистки подземных вод от марганца озонированием с последующим фильтрованием.

Источником хозяйственно-питьевого водоснабжения поселка Новый Ургал являются подземные воды в пойме реки Солони. Подземные воды Солонийского месторождения содержат марганец концентрацией до 0.6 мг/л, сероводород до 0.4 мг/л, фтор - 0.1 мг/л, Fe^{2+} до 0.6-0.7 мг/л. Температура исходной воды равна 1.5 °С, щелочность 2 - 2,5 мг-экв/л, жесткость 0,5 - 1,5 мг-экв/л, рН находится в пределах 7,5 - 8,0. Для доведения качества воды до требуемого стандартом предусмотрено удаление из нее марганца, железа и сероводорода, а также фторирование и обеззараживание воды.

Технологическая схема станции очистки воды поселка Новый Ургал производительностью 7000 м³/сут представлена на рис. 5.4. Вода из артезианских скважин, расположенных от поселка в 8 км, по двум водоводам диаметром 250 мм, уложенных на насыпи в теплоизоляции вдоль автодороги, подается на площадку котельной для подогрева, а затем на площадку второго подъема, где производится ее очистка. Здесь исходная вода подается в контактные камеры, в которые вводится озono-воздушная смесь. На станции установлены 2 камеры с размерами в плане 3 x 3.5 м каждая. Вода в камеры подается сверху, через желоба с отверстиями. Озон поступает через пористые трубы, уложенные на дне. Перемешивание воды и озона происходит при их противотоке, что позволяет более полно использовать озон. Для генерации озона установлены два озонатора ОП-121, один из них рабочий, другой резервный. Воздух, подаваемый в озонаторы, подвергается очистке и осушке.

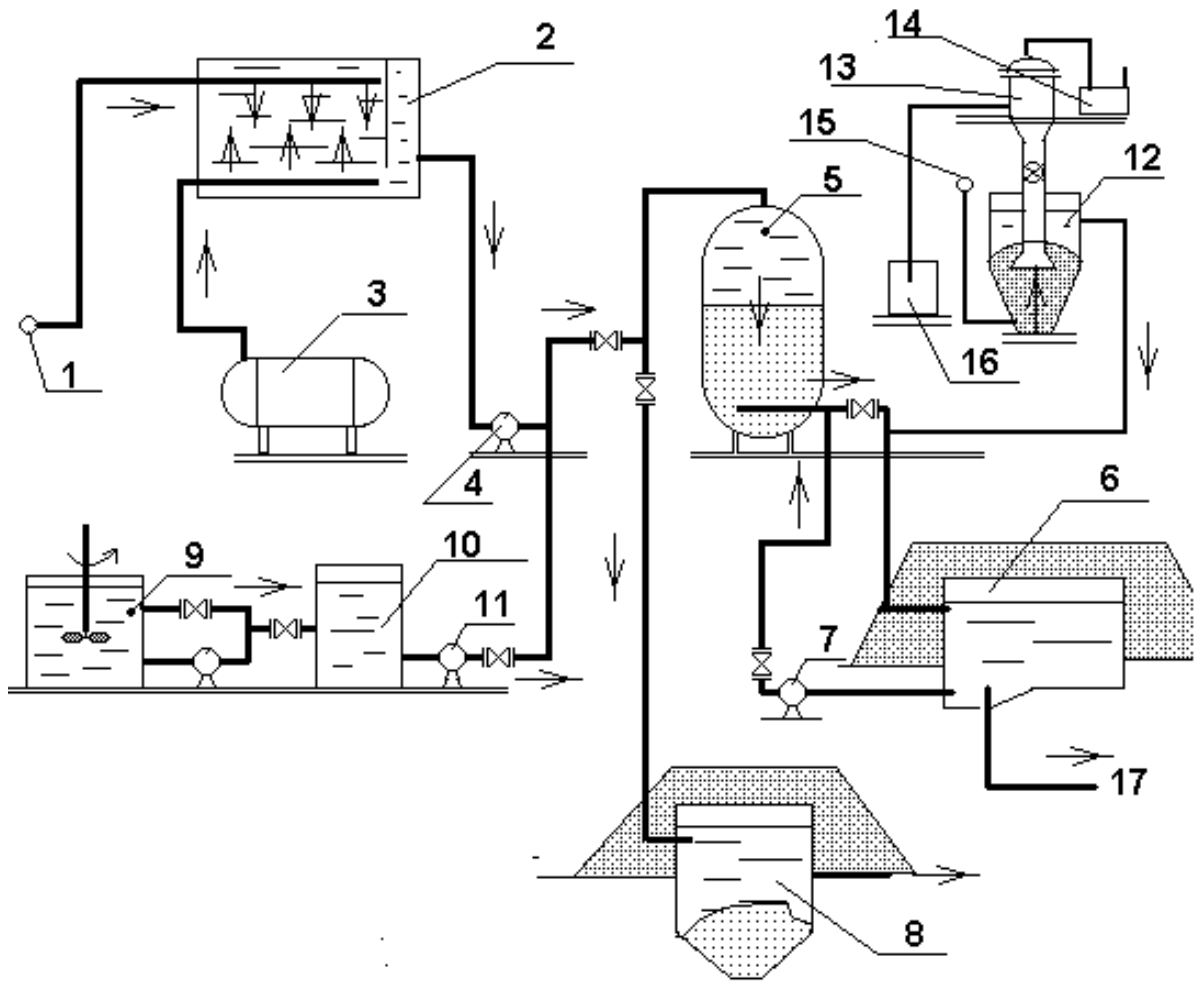


Рис. 5.4. Деманганация и обезжелезивание воды в пос. Новый Ургал: 1 - от водозаборных скважин; 2 - контактная камера; 3 - генератор озона; 4 - насос подачи воды на фильтры; напорный фильтр; 6 - резервуар чистой воды; 7 - насос промывки фильтров; 8 - резервуар-отстойник промывных вод; 9 - установка растворения ПАА; 10 - расходный бак ПАА; 11 - насос-дозатор; 12 - сатуратор; 13 - вакуум-бункер кремнефтористого натрия; 14 - вакуум-насос; 15 - Подача воды в сатуратор от внутреннего водопровода; 16 - емкость с кремнефтористым натрием; 17 - очищенная вода в поселок

В контактных камерах, рассчитанных на 15 минут контакта воды с озоном, происходит окисление двухвалентного марганца в четырехвалентный, а также железа и сероводорода. Высокое значение **pH** очищаемой воды и сильные окислительные свойства озона позволяют обойтись без подщелачивания.

Применение озона позволяет одновременно осуществить и обеззараживание воды. Доза озона составляет 3 г/м^3 .

Озонированная вода из контактной камеры забирается двумя насосами 8К-12, производительностью $288 \text{ м}^3/\text{час}$ и напором 29 м каждого, и подается на фильтры, для очистки ее от нерастворимого четырехвалентного окисла марганца. Перед подачей воды на фильтры предусмотрен ввод раствора полиакриламида **ПАА**, что позволяет интенсифицировать процесс сорбции взвеси фильтрующим материалом.

На водоочистой станции установлено шесть напорных фильтров марки **ФОВ-3.4-6**, загруженных песком гранодиоритовым диаметром зерен 0,8 - 2,0 мм. Дренаж фильтров трубчатый с круглыми отверстиями, поэтому в фильтрах имеется поддерживающий слой. Нормальная продолжительность фильтроцикла составляет 24 часа, после чего фильтр подвергается промывке. Применена водовоздушная промывка со следующими режимами: продувка воздухом интенсивностью $15-20 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ в течение 1-2 мин; совместная водовоздушная промывка с подачей воздуха интенсивностью $15-20 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ и воды интенсивностью $2.5-3 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ в течение 4-5 мин; промывка только интенсивностью водой $5-6 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ в течение 4-5 мин. Вода для промывки фильтров забирается из резервуара чистой воды насосами 4К-12а, производительностью $100 \text{ м}^3/\text{час}$ и напором 23 м. На станции установлено три таких насоса. Промывная вода сбрасывается в резервуар-отстойник и далее в марь.

Для приготовления и дозирования **ПАА** установлены мешалка типа **УРП**, расходный бак раствора и насос -дозатор.

Для обогащения воды фтором, перед резервуаром чистой воды вводится раствор кремнефтористого натрия **Na₂SiF₆**. Расчетная доза фтора принята равной 1.6 мг/л. Раствор **Na₂SiF₆** готовится в сатураторе диаметром 1 м, производительностью по раствору 80 л/ч.

Очищенная вода поступает в два резервуара чистой воды, по 500 м³ каждый, и далее, под естественным напором, по двум водоводам диаметром 300 мм подается в сеть поселка Новый Ургал.

6. НЕТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА

Кроме описанных выше, имеются способы очистки воды от железа и марганца, получивших небольшое применение в практике и не отраженных в большинстве пособий и справочников, посвященных настоящей проблеме. Знание этих методов необходимо хотя бы для того, чтобы не изобретать их вновь.

Метод катионирования воды. В теплоэнергетике встречаются случаи удаления железа и марганца в процессе катионитового умягчения воды. Этот процесс возможен только при присутствии их в истинно растворенном состоянии, то есть в ионной форме. 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.

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. Такая отмывка требует больших затрат, поэтому в воде подаваемой на катионитовые фильтры, как правило, допускаются концентрации железа и марганца не более 1 мг/л. Этими значениями определена область применения этого метода, проводить его целесообразно только при необходимости одновременного умягчения воды.

Схема очистки подземных вод катионированием приведена на рис. 6.1.

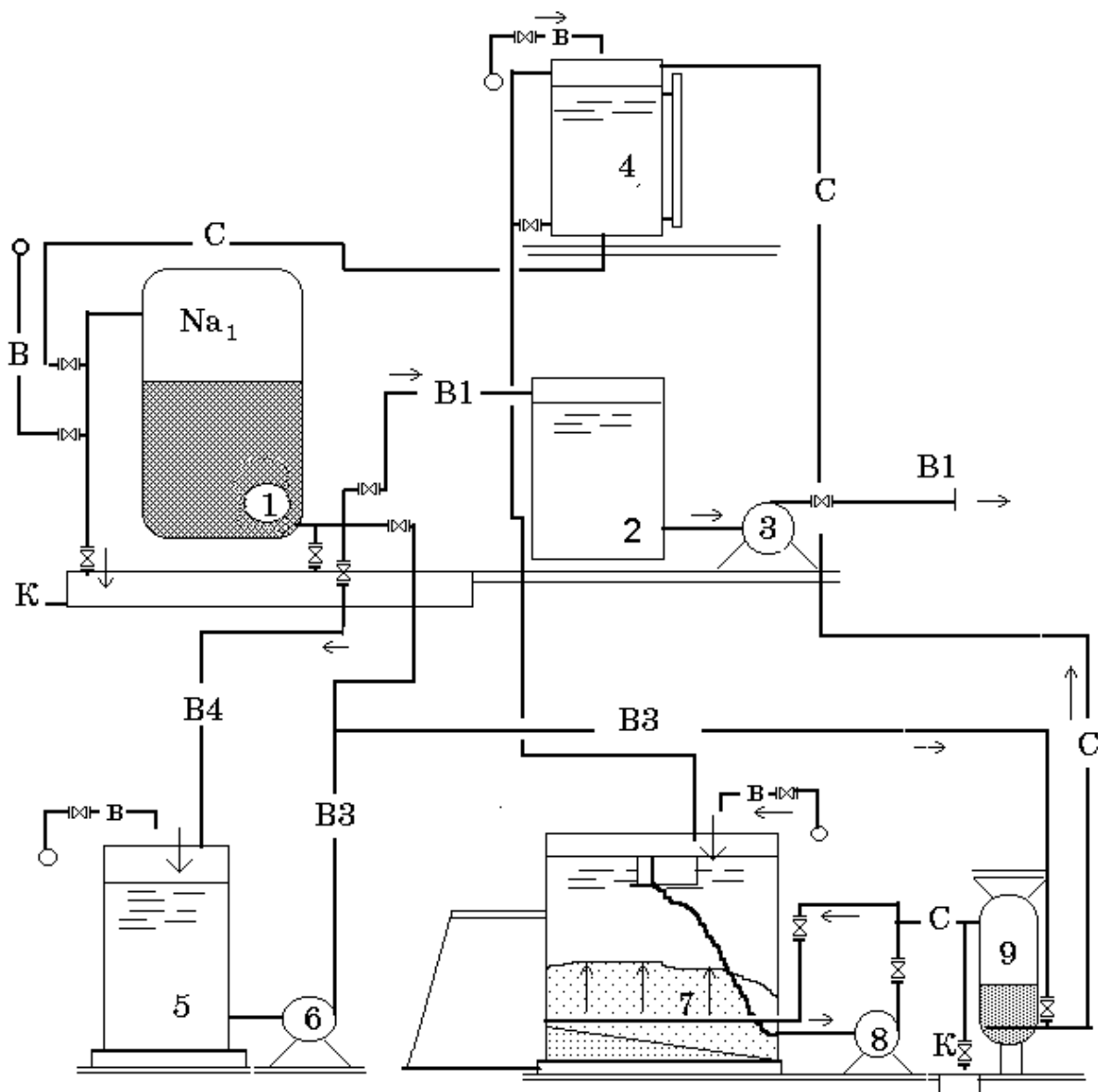


Рис. 6.1. Удаление железа и марганца из подземных вод натрий-катионированием: 1- фильтры катионитовый; 2 - бак очищенной воды; 3 - насос подачи очищенной воды потребителю; 4 - бак-мерник раствора соли; 5 - бак сбора отмывочной воды для взрыхления фильтров; 6 - насос подачи воды на взрыхление фильтров; 7 - бак хранения соли; 8 - насос перекачки соли; 9 - солерастворитель; 10 -; трубопроводы: В - водопровода; В1 - очищенной воды; В2 - отмывки фильтра; В3 - взрыхляющей воды; В4 - сбора отмывочной воды; С - раствора соли; К - сточных вод

Здесь обработка воды производится в одной ступени натрий-катионитового фильтра 1. Взрыхление фильтра предусмотрено водой, собираемой в процессе отмывки в баке 5, для отмывки фильтра используется исходная вода. Для регенерации катионита используется раствор поваренной соли, для хранения соли предназначен бак 7, из которого верхний, отстоявшийся слой раствора насосом 8 через фильтр 9, перекачивается в бак-мерник раствора соли 4. В баке-мернике раствор разбавляется до концентрации 5 - 10 % и по мере надобности подается в фильтр для его регенерации.

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 двуокси 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. Метод сухой фильтрации рекомендуется при содержании железа в исходной воде до 6 мг/л. В Дальневосточном регионе России этот метод обработки воды не применяется.

Представляет также интерес применение биологического метода обработки подземных вод, процессам и аппаратам которого посвящен раздел 7.

Прочие, описанные в литературе, методы обезжелезивания и деманганации подземных вод, к которым относится электрокоагуляция, фильтрование через патронные фильтры, флотация, применение ультразвука, использование магнитного поля и многие другие, не нашли применения в инженерные практики подготовки питьевой воды ни в России, ни в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, представляют только теоретический интерес и поэтому в данном пособии не рассматриваются.

7. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Имеется большая группа микроорганизмов, которые необходимую для своей жизнедеятельности энергию получают от окислительных реакций неорганических веществ. Такие микроорганизмы называются литотрофными, (от греческих слов lithos камень и trope питание). К ним относятся и железобактерии. Железобактерии относятся к аэробным микроорганизмам, то есть для их жизни необходим кислород. Группа железобактерий довольно многочисленна, часть бактерий из этой группы изображена на рис. 7.1.

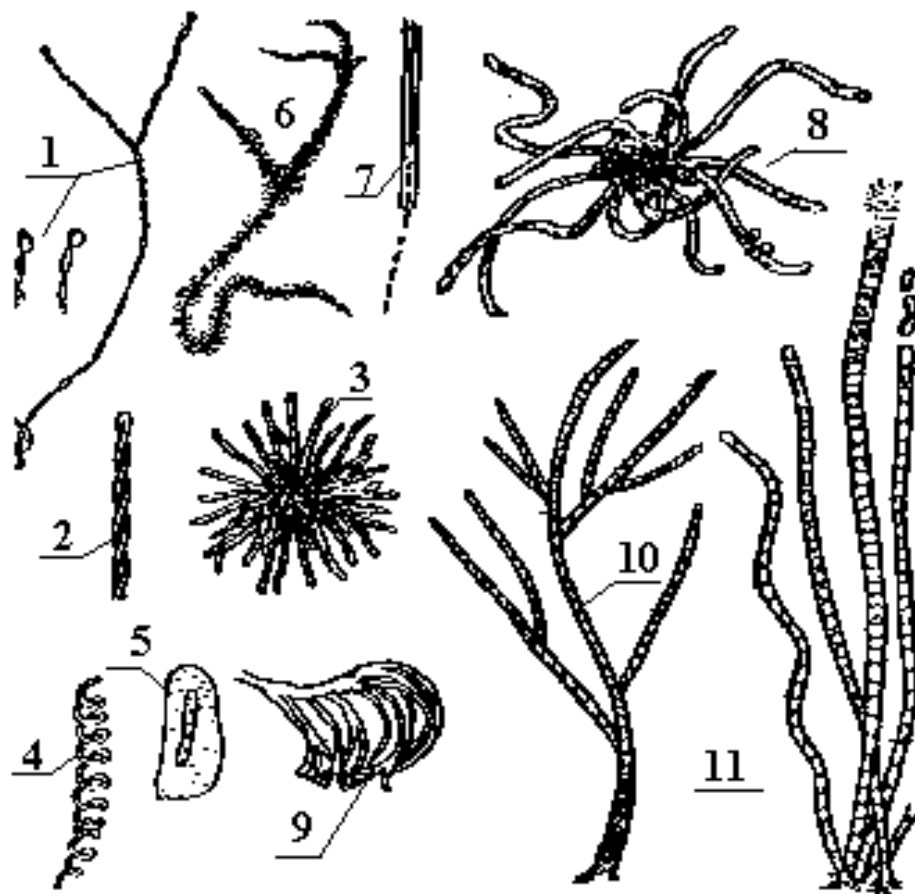


Рис. 7.1.
Железобактерии:
1 - *Gallionella ferruginea*; 2 - *Spirrophyllum ferrugineum*; 3 - *Leptothrix trichogenes*; 4 - *Spirosoma ferruginea*; 5 - *Mycothrix clonothrichoides*; 6 - *Leptothrix discophora*; 7 - *Leptothrix ochracea*; 8 - *Leptothrix lophjlea*; 9 - *Leptothrix trichogenes*; 10 -

Grenotrix fusca; 11 - *Grenotrix polyspora*

В природных условиях железобактерии живут в застоявшейся и проточной воде при $\text{pH} = 4 - 10$ и температурах от 5 до 40°C , оптимальная температура для их жизнедеятельности 24°C . Одни из железобактерий нуждаются для своего роста в органических веществах, для других они не требуются. Многие из них ассимилируют углерод из растворенной в воде двуокиси углерода. Имеются микроорганизмы, способные окислять железо в кислой среде при $\text{pH} = 4,5$ и менее, к ним относится *Thiobacillus ferrooxidans*.

В среде, близкой к нейтральной, существуют железобактерии, обладающие мощным ферментативным аппаратом, позволяющим им конкурировать с процессом химического окисления. Такие железобактерии часто встречаются в хорошо аэрируемых ручьях при выходе подземных вод на поверхность. Из этих бактерий наиболее известны *Leptothrix* и *Gallionella*. Железобактерии способны разрушать органические комплексы железа, трудно разрушаемые в химических окислительных процессах. Внутри клеток железобактерий образуется окись железа. Количество выделяемой железобактериями гидроокиси во много раз превышает внутриклеточное содержание железа.

Способность железобактерий выделять железосодержащий шлам создает проблемы при транспортировании по трубопроводам воды, содержащей растворенное железо и кислород. Железобактерии создают на стенках труб

корки и бугорки. К этой части стенок труб доступ кислорода затруднен. Поверхность металла без отложений, превращается благодаря свободному доступу кислорода в оксидную пленку, защищающую металл от коррозионного воздействия. Неоднородности на поверхности труб приводят к возникновению локальных электрохимических элементов. Оксидная пленка здесь играет роль катода, а металл под корками и бугорками шлама - анода.

В результате происходит анодное растворение металла и обогащение воды ионами железа, столь необходимыми в свою очередь для жизнедеятельности железобактерий, а под бугорком образуется язва. Схема такого вида коррозии труб приведена на рис. 7.2.

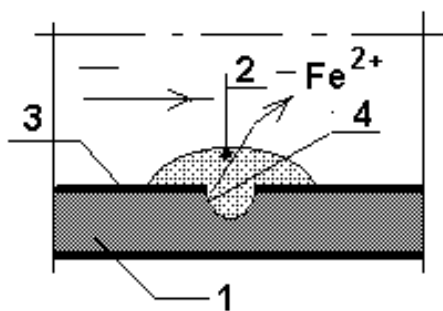


Рис. 7.2. Схема коррозии стальных труб при деятельности железобактерий: 1 - металл трубы; 2 - бугорок шлама с железобактериями; 3 - катод; 4 - анод

Существует симбиоз железобактерий с другими бактериями, например восстанавливающими сульфаты и выделяющими сероводород и кислоты. Этот симбиоз в состоянии привести к усилению растворения металла труб. Зимой 1997 - 1998 г в горячей воде, подаваемой в г. Хабаровске от теплосетей ТЭЦ-2, наблюдались сильный запах сероводорода и высокое содержание железа, что, несомненно, вызвано деятельностью сульфатвосстанавливающих и железобактерий.

Из марганецоксилирующих организмов наиболее изучены аэробные бактерии *Metallogenium*, оптимальная область развития которых находится в пределах $\text{pH} = 6 - 8$, в условиях подавленной миграции железа.

Обычно биологическое обезжелезивание совмещается с химическим окислением в обычных скорых фильтрах, такая схема реализована в городе Страссбурге. Исходная вода, содержащая марганец в концентрации до 0,7 мг/л и железо до 4 мг/л, аэрируется в каскадном аэраторе и проходит две ступени фильтра, в первом из них удаляется железо, во втором марганец. Фильтры загружены песком с диаметром зерен 1 - 3 мм и высотой загрузки 2000 мм, скорость фильтрования 3,5-4,0 м/ч.

На средних водоочистных станциях Финляндии нашло применение удаление железа и марганца из подземных вод с помощью медленных фильтров [15]. Самая мощная станция производительность 6700 м³/сут расположена в г. Туусула, схема ее приведена на рис. 7.3.

На этой станции первым по движению воды установлен префильтр с загрузкой из щебня крупностью 50 - 100 мм, вода через него движется со скоростью не более 3 м/ч, время пребывания в сооружении не менее 30 мин. Вода, добытая из скважины, над префильтром аэрируется, в щебне формируется и развивается бактериальная масса. Далее вода проходит через отстойники и медленные фильтры. Отстойники в этой схеме играют незначительную роль и на некоторых станциях, без ущерба для их работы, отсутствуют. Медленные фильтры загружены кварцевым песком с крупностью частиц 0,5 - 2 мм при

толщине слоя 500 мм. Над фильтром поддерживается слой воды высотой 500 - 700 мм, скорость фильтрования в фильтре 0,05 - 0,3 м/ч.

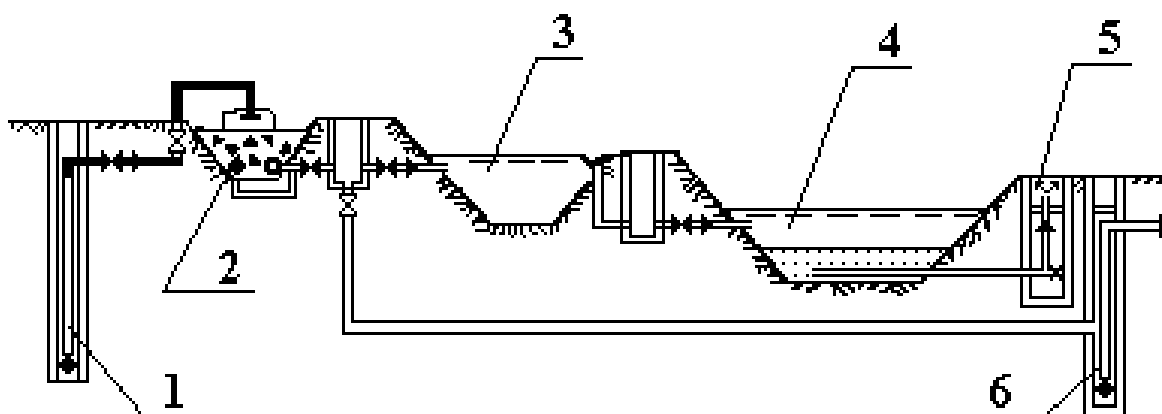


Рис. 7.3. Технологическая схема очистки подземных вод с микробиологическим окислением железа и марганца: 1- скважина; 2 - префильтр; 3 - отстойник; 4 - медленный фильтр; 5 - колодец приема очищенной воды; 6 - сборник промывной воды

На поверхности фильтра формируется осадок железа и марганца и присутствуют железобактерии. Удаление осадка производится вручную или механизированным способом. При концентрации в исходной воде железа до 1,3 - 1,7 мг/л, марганца 0,4 - 0,5 мг/л, концентрации их в очищенной воде составляют соответственно 0,01 и 0,05 мг/л. Сооружения располагаются на открытом воздухе, на поверхности воды в медленном фильтре зимой образуется лед. Такая технология применима только в южной части Дальнего Востока, так как в других районах требуется слишком большая площадь здания для размещения в них фильтров.

8. ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ

Впервые способ обезжелезивания подземных вод в пласте, известный в настоящее время как технология VYREDOX, был разработан и запатентован в Финляндии в 1969 г., а дальнейшее развитие получил в Швеции [26, 27]. В СССР с 1980 года во ВНИИ ВОДГЕО проводились комплексные гидрогеохимические и технологические исследования по обезжелезиванию подземных вод в пласте на ряде водозаборов [20, 21, 24]. В 1985 году эта технология внутрипластовой очистки была принята межведомственной экспертной комиссией ГКНТ СССР, согласована в Минздраве СССР и рекомендована к широкому внедрению.

К настоящему времени, в основном за рубежом, эксплуатируется более 150 установок обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте. Опытнотехнологические исследования и сооружение установок обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте на водозаборах Приамурья выполняются с 1990 года, а с 1993 по 1996 год - впервые в практике гидрогеологических работ выполнены на Тунгусском месторождении подземных вод, намечаемом для водоснабжения г. Хабаровска.

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 мВ до 80 мВ, рН составляет 5.8 - 6.5, содержание CO_2 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 мВ, рН повышается до 7,0 и более.

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 обезжелезенной воды, насыщенной кислородом. Принципиальная схема такой технологии приведена на рис. 8.1. 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.

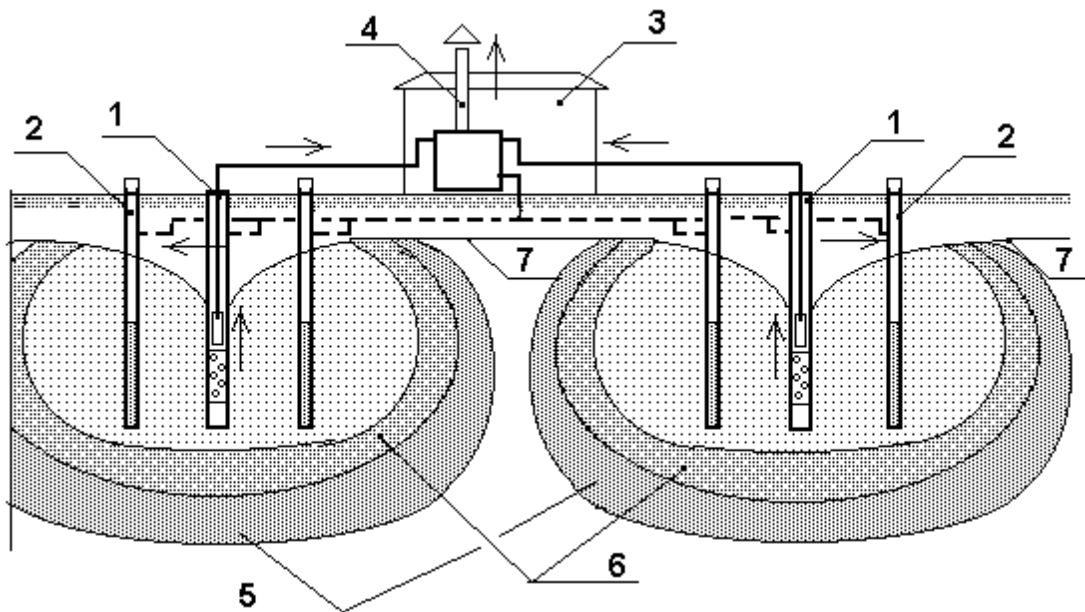


Рис. 8.1. Схема обезжелезивания и деманганации воды при использовании метода Vuyredo x: 1 -

эксплуатационная скважина откачки воды; 2 - наливная скважина; 3 - оксигенератор; 4 - удаление газов; 5, 6 - зоны удаления железа и марганца; 7 - уровень грунтовых вод

В адсорбционном слое происходит связывание большого количества кислорода. В результате вовлечения в фильтрацию большого объема водовмещающих пород, скорость фильтрования в зоне отделения осадка очень невелика и водовмещающие породы пласта, окружающие скважину, начинают работать как медленные фильтры,

С течением времени, в результате истощения кислорода в адсорбционном слое, в отбираемой воде возрастает содержание железа. Процесс "зарядки" повторяется. На поверхности зерен водоносных пород образуется каталитическая пленка, аналогичная образующейся в скорых фильтрах, описанных в разделе 2. В состав каталитической пленки входит гидроокись и гидрозакись железа. Сорбционная способность образовавшейся гидроокиси зависит от рН: чем выше рН, тем выше сорбционная способность, из-за увеличения отрицательного потенциала $\text{Fe}(\text{OH})_3$. По мнению авторов метода, большое влияние на процесс оказывают железобактерии *Leptothrix* и *Gallionella*, которые осуществляют биологическое окисление железа. Осаждение железа происходит в первой зоне, наиболее удаленной от водозаборной скважины. Поскольку при приближении к скважине количество бактерий увеличивается, то увеличивается также число мертвых железобактерий. Мертвые железобактерии, поступающие далее с водой, составляют часть органических веществ, являющихся источником углерода для бактерий, которые имеют склонность к окислению марганца. Это связано с тем, что чем ярче у бактерий выражена склонность к окислению марганца, тем больше их потребность в органическом угле, необходимом для роста и размножения. С другой стороны данный процесс происходит ближе к скважине, где достигнуто более высокое значение показателя Eh.

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 обезжелезенной грунтовой воды. Поэтому для обеспечения непрерывной подачи потребителю обезжелезенной 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.

Осаждение железа происходит преимущественно во внешней, более удаленной от скважин зоне пласта. Здесь существенно увеличивается количество железooksисляющих бактерий и, соответственно, возрастает число отмирающих железобактерий. Часть из последних, перемещаясь потоком подземных вод при откачке по мобильным порам пласта в направлении фильтра скважин, поставляет органический углерод, необходимый для жизнедеятельности поглощающих марганец бактерий. Эти бактерии развиваются во внутренней зоне вблизи ствола скважины и окисляют марганец, переводя его в нерастворимую форму.

Таким образом, технология обезжелезивания и очистки подземных вод в пласте соответствует условиям, которые создает сама природа с помощью различных типов бактерий при изменении геохимической обстановки за счет насыщения воды кислородом.

Для проектирования и расчета установок обезжелезивания и деманганации подземных вод, действующих по схеме закачка аэрированной воды - откачка обезжелезенной воды, необходимо располагать данными опытного опробования технологии. Продолжительность процесса "зарядки" пород водоносного пласта адсорбированным кислородом зависит от множества факторов и, в частности, от химического состава подземных вод и содержания в них железа, от гранулометрического состава пород и минерального состава "рубашки" на поверхности частиц грунта. В значительной степени от этих же факторов зависят и параметры кинетики окисления железа.

При прочих равных условиях, как продолжительность зарядки пласта, так и продолжительность последующего получения обезжелезенной воды зависят также от размеров зоны, в которой протекает процесс. Чем меньше размеры этой зоны, тем при меньших объемах закачки питательной воды в пласт можно обеспечить ее зарядку. В этом случае продолжительность фильтроцикла будет незначительна, но за счет отложения в поровом пространстве железистых осадков в прискважинной зоне будет происходить снижение производительности установки в результате кольматажа пор пласта и ожидаемый эффект обезжелезивания подземных вод не будет достигнут. С увеличением размеров зоны время на ее зарядку возрастает, при этом увеличивается продолжительность фильтроцикла, но уменьшается опасность кольматажа водоносного пласта в прискважинной зоне.

Таким образом, выбор оптимальных технологических параметров работы установок обезжелезивания, при которых бы обеспечивались оптимальные условия их эксплуатации, следует производить в каждом конкретном случае на основе расчетов, при этом необходимо учитывать реальные гидрогеологические и гидрохимические условия, а также данные по кинетике окисления железа в водоносных пластах

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.

За рубежом работают установки обезжелезивания подземных вод в пластах, где природные содержания железа достигают 38 мг/л, а марганца - 2 - 4 мг/л. Опытными-технологическими исследованиями в условиях Приамурья доказана возможность снижения концентраций железа в откачиваемой воде с 17 - 28 мг/л до 0,04 - 0,20 мг/л, а марганца - с 1,2 - 1,4 мг/л до 0,06 - 0,1 мг/л.

Для очистки подземных вод в водоносном пласте применяются односкважинные и двухскважинные установки циклического действия, а также

много скважинные установки типа Виредокс (VYREDOX) постоянного действия.

Известны четыре модификации этого типа, разработанные шведской фирмой VYRMETODER AB. Первая установка была сооружена в 1969 г. по принципу Виредокс-1. При применении метода Виредокс-1, скважины специализированы: одни наливные (инжекционные) используются для подачи в пласт аэрированной воды, другие эксплуатационные - для отбора очищенной подземной воды. Установка состоит из нескольких кустов скважин. В центре каждого куста находится эксплуатационная скважина, вокруг которой в радиусе от 5 до 30 м располагается до 6 инжекционных скважин.

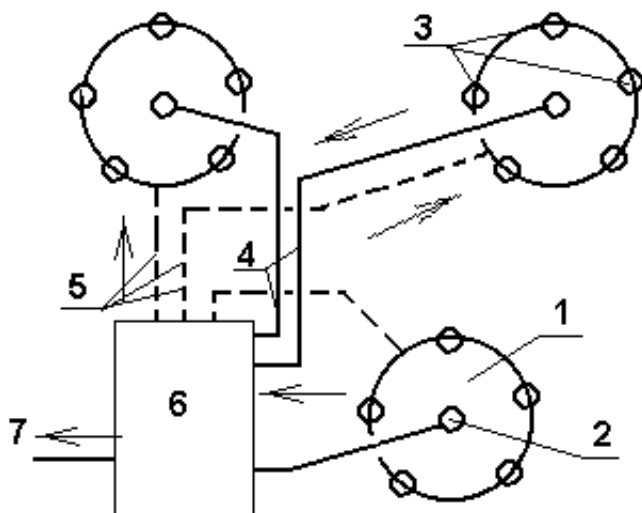


Рис. 8.2. План размещения установки Виредокс-1: 1- куст скважин; 2 - эксплуатационная скважина; 3 - наливные скважины; 4, 5 - трубопроводы откачки очищенной и налива аэрированной воды; 6 - здание размещения насосов, резервуаров и оксигенатора; 7 - подача очищенной воды потребителю

Все скважины обычно работают в постоянном режиме.

На рис. 8.1 приведен пример этой установки в сечении, а на рис. 8.2 в плане. Установка на рис. 8.2 состоит из трех кустов с одной эксплуатационной и пяти наливных скважин. Часть воды q забираемой эксплуатационными скважинами подается на оксигенатор и отводится после него в наливные скважины, остальная часть Q подается потребителю. В качестве оксигенатора используются аэрационные устройства, обеспечивающие глубокое удаление двуокиси углерода CO_2 , описанные в разделе 9.1. В эксплуатационном режиме на установке Виредокс аэрации подвергается очищенная вода, поэтому в качестве насадка дегазаторов рекомендуются керамические кольца Рашига. Эффективность работы установки характеризуется отношением Q/q , в зависимости от химического состава вод и гидрогеологических условий это соотношение составляет значение от 3 до 50. Схемы очистки воды по принципам Виредокс-2, -3 и -4 отличаются усовершенствованием системы подачи аэрированной воды в водоносный пласт. Односкважинные и двухскважинные установки рассчитаны на периодическую работу скважин с чередованием циклов закачки в пласт аэрированной воды и отбора очищенной подземной воды и применены в России.

Односкважинные установки (рис. 8.3, А) представляют систему, состоящую из одной скважины и оборудования по дегазации откачиваемой воды от углекислого газа и сероводорода и насыщения воды кислородом воздуха перед ее подачей в водоносный горизонт. Подача воды потребителю в этой системе производится периодически, так как часть периода эксплуатации скважина

находится в режиме налива. Это обстоятельство требует наличия в водопроводной системе резервуаров с повышенным объемом.

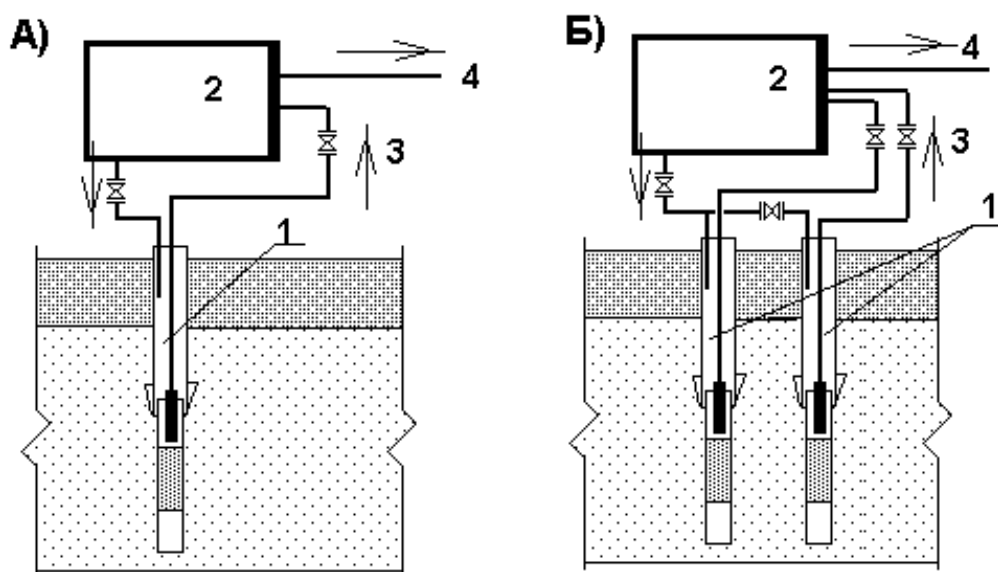


Рис. 8.3. Варианты установок подземной очистки воды: А - односкважинная; Б - двухскважинная; 1 - водозаборная скважина; 2 - здание размещения

я аэратора, резервуаров и насосов; 3 - откачка очищенной воды; 4 - водовод к потребителю

Двухскважинные установки (рис. 8.3, Б) представляют систему кустов спаренных скважин. Из одной скважины куста откачивается вода, большей частью, поступает в водопровод, а оставшаяся часть, после насыщения ее кислородом воздуха, закачивается во вторую скважину. Через 20 часов закачки вторая скважина выстаивается в течение 4 часов, после чего из нее начинают отбор воды и налив в первую скважину.

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. Кроме того, снимаются экологические трудности по обработке промывных вод фильтров, количество которых может достигать 15-20% от полезной производительности станции обработки воды выполненной по традиционной схеме.

9. СООРУЖЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СТАНЦИЙ ОБРАБОТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

9.1. Аэрационные устройства

Аэрационные устройства присутствуют в большинстве технологических схем обезжелезивания и деманганации воды. Они предназначены для насыщения воды кислородом воздуха и удаления двуокси углерода. *Аэрационные устройства простейшего типа* применяются в схемах с упрощенной аэрацией

и последующим фильтрованием. В открытых фильтрах аэратор этого типа представляет собой воронку на трубопроводе подачи воды в фильтр, поднятую над поверхностью воды. Схема этого устройства для аэрации воды ясна из рис. 2.1. Такое устройство позволяет, обычно, насытить воду кислородом воздуха до концентрации 6 - 8 мг/л, что теоретически достаточно для окисления железа с концентрацией его в воде до 40 мг/л и более, но удаление двуокиси углерода происходит здесь в незначительной мере и рН воды практически не увеличивается. Поэтому область применения таких аэраторов ограничена.

При применении метода упрощенной аэрации и напорных фильтров (рис. 2.4), обогащение воды кислородом воздуха происходит в напорном смесителе, схема которого показана на рис. 9.1. Воздух от компрессора подается в трубопровод перед смесителем. Смеситель состоит из круглого корпуса диаметром D, в котором имеется 4 - 6 диафрагм для турбулизации потока и интенсификации перемешивания.

Длина корпуса смесителя принимается равной 400 - 500 мм, диаметр его определяется по расчетной скорости движения воды в корпусе 0,05 - 0,06 м/с. Площадь отверстий в диафрагме определяют по скорости движения воды равной 0,8 - 1,0 м/с. Резервные смесители на станции не предусматривают.

Улучшенная аэрация осуществляется большей степенью дробления потока и уменьшением диаметра струй аэрируемой исходной воды. Для этой цели вода изливается струями из приподнятых над фильтром напорных трубопроводов (рис. 2.3) или лотка (рис. 9.2)

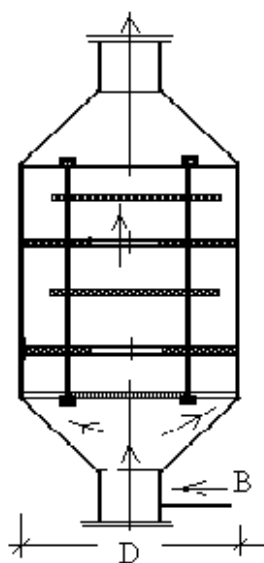


Рис. 9.1. Смеситель воды и воздуха: В - ввод воздуха; D - диаметр корпуса

Аэраторы этого типа приподнимают над уровнем воды на высоту до 1 м над уровнем жидкости и до 50 см над корпусом фильтра. Диаметры отверстий принимают равными 5 - 15 мм. Расход жидкости $q_{отв}$, м³/с, через одно отверстие в аэраторе определяется по известной в гидравлике формуле

$$q_{отв} = \mu \omega \sqrt{2gH} \quad (9.1)$$

где $\mu = 0,62$ - коэффициент расхода; ω - площадь сечения отверстия в м²; H - напор воды перед отверстием в м (в примере на рис. 9.2 напор H = 0,7 м). По общему расходу жидкости и расходу через одно отверстие определяют потребное число отверстий, их расставляют равномерно по длине лотка или трубопроводы в несколько рядов в шахматном порядке.

Такие аэраторы способны удалить из воды, поступающей на сооружение, до 20 - 30 % свободной двуокиси углерода.

Аэраторы для усиленной аэрации выполняются в виде брызгальных бассейнов, градирен или сооружений специальной конструкции. В условиях Дальнего Востока все аэрационные сооружения размещают в здании.

Аэрационные (брызгальные) бассейны располагают над поверхностью фильтров или над водосборным резервуаром малой вместимости, если по технологии не нужен длительный контакт воды с кислородом, или над контактном резервуаром. Основой аэрационного бассейна является система водораспределительных труб, оборудованная соплами (рис. 9.3). Сопла располагаются равномерно по площади бассейна, пучками по 2- 4 штуки. В сопле поток воды раскручивается и при выходе из него образует факел, обеспечивающий высокую степень аэрации и глубокое удаление CO_2 .

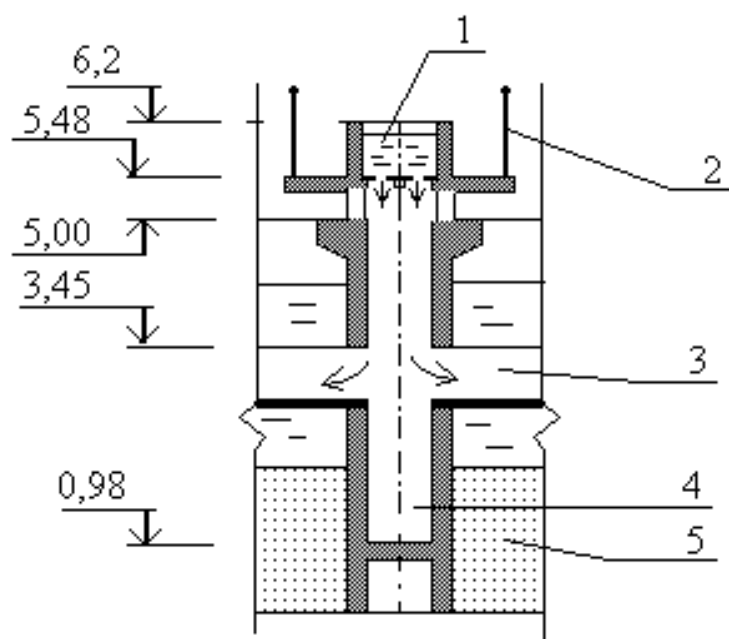


Рис. 9.2. Аэратор над центральным каналом фильтра обезжелезивания воды в г. Тула: 1 - аэрационный лоток; 2 - мостик для оператора; 3 - желоб; 4 - центральный канал; 5 - фильтрующая загрузка

Расход воды из одного сопла $Q_{\text{сопла}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, можно определить по формуле

$$q_{\text{сопла}} = A \sqrt{H}, \quad (9.2)$$

где A - расходная характеристика сопла, равная 4,7 для тангенциального сопла с диаметром входного патрубка 50 мм; H - напор воды перед соплом, м. Напор воды перед соплами принимают обычно в пределах 3 - 3,5 м. Чем больше этот напор, тем больше поверхность факела воды и выше эффективность работы аэратора. Общее число сопел определяется по формуле

$$N = Q / q_{\text{сопла}}, \quad (9.3)$$

где Q - расход воды, подаваемой в бассейн, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Площадь аэрационного бассейна должна быть не менее определенной из формулы

$$F = \frac{N}{m} ab, \quad (9.4)$$

где N - расчетное число сопел в бассейне; m - число сопел в пучке (на рис. 9.3 $m = 2$); a - расстояние между пучками сопел; b - расстояние между распределительными трубопроводами, м.

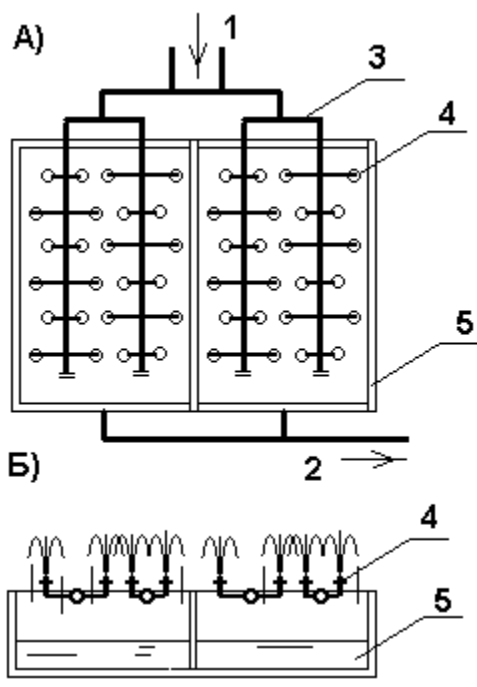


Рис. 9.3. Аэрационный бассейн: а) план; б) разрез; 1 - вода от скважин; 2 - на сооружения очистки воды; 3 - водораспределитель; 4 - сопло; 5 - водосборный бассейн

Рекомендуется принимать расстояние между соплами 1,2 - 2,4 м; $a = 1,2$ м; $b = 3,0$ м, расстояние от сопла до стенки бассейна должно быть не менее 1,5 м. Бассейн должен состоять не менее чем из двух секций.

Аэрационный бассейн способен удалить до 50 % растворенной двуокиси углерода. Недостатком этого сооружения является большая площадь его в плане, гидравлическая нагрузка на него не превышает $1,2 - 1,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. Примеры

расчетов и разнообразные конструкции аэрационных бассейнов приведены в [19].

Наиболее совершенными устройствами для аэрации и дегазации воды являются *градирни-дегазаторы*. Они способны удалять из воды двуокись углерода до остаточной концентрации 5 - 10 мг/л. Основной недостаток этого сооружения заключается в больших затратах энергии на подачу воздуха вентилятором.

Дегазатор может быть прямоугольным или круглым в плане. При работе дегазатора в верхнюю его часть подается исходная вода, которая равномерно распределяется по площади сооружения с помощью сливных трубок 1 диаметром 20 - 40 мм, установленных в распределительной плите. Для дробления потока воды предназначен насадок. На станциях обезжелезивания нет возможности применять высокоэффективные насадки, например керамические кольца Рашига, так как они быстро забиваются хлопьями соединений железа. Здесь более предпочтителен насадок из деревянных досок 4 сечением 80 x 13 мм с прозорами между брусками по горизонтали и вертикали около 40 - 50 мм.

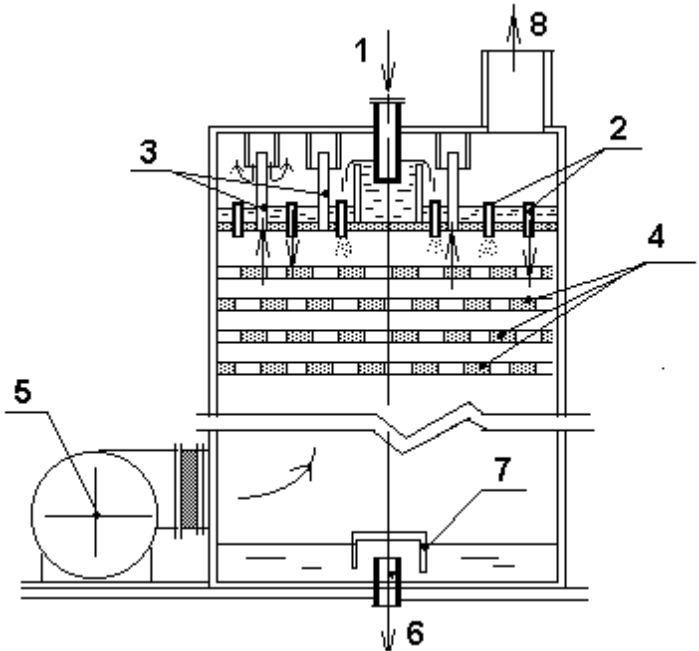


Рис. 9.4. Градирня-дегазатор: 1 - подача исходной воды; 2 - водосливные трубки; 3 - воздушные трубки; 4 - насадок; 5 - вентилятор; 6 - выход обработанной воды; 7 - гидравлический затвор; 8 - выход газов из градирни

В сооружении, круглом в плане, бруски укладываются по

хордам, и насадок, поэтому называют деревянным хордовым. Такой насадок выполняется из щитов состоящих из двух рядов досок, скрепленных ребрами жесткости. Площадь поверхности такого щита f составляет $3,2 - 3,8 \text{ м}^2$ на 1 м^2 его в плане.

В системах внутрислоевой очистки воды, наоборот, более предпочтительно применение для насадка керамических колец Рашига размером $25 \times 25 \times 4 \text{ мм}$ с удельной поверхностью f равной 204 м^2 на 1 м^3 его объема. Высокая удельная поверхность такого насадка резко уменьшает размеры дегазатора, а подача на него очищенной воды позволяет избежать его засорения.

Навстречу потоку воды, от вентилятора 5 подается поток воздуха с расходом от $4 - 5 \text{ м}^3$ на 1 м^3 обрабатываемой воды, при частичном удалении двуокиси углерода, и до $15 \text{ м}^3 / \text{м}^3$, при глубоком. Воздух проходит через насадок, выводится из дегазатора вместе с двуокисью углерода через воздушные трубки 3, диаметром $50 - 100 \text{ мм}$, и далее через трубопровод 8 выбрасывается в атмосферу. Во избежание выноса капель воды, над трубками устраивается простейший водоуловитель. Отвод воды производится через гидравлический затвор 7 с помощью трубопровода 6.

Остальные параметры работы дегазатора с деревянным хордовым насадком принимают следующими: расход воды на единицу площади поперечного сечения дегазатора (плотность орошения) $q = 40 - 90 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$; потери напора воздуха в насадке - 10 мм вод. ст. , в остальных элементах градирни - $25 - 30 \text{ мм вод. столба}$. Коэффициент десорбции двуокиси углерода $K_{\text{ж}}$ из воды с температурой $5 - 8 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет около $1,0 \text{ м/ч}$.

Эффективным устройством для аэрации и удаления из воды CO_2 является вакуумно-эжекционный декарбонизатор (ВЭД) конструкции Комарчева. Такого рода аппараты предназначены для глубокого удаления из воды растворенной двуокиси углерода (декарбонизации) до концентрации $3 - 5 \text{ мг/л}$ и обогащения ее кислородом воздуха.

Конструкция ВЭД, установленного на станции обезжелезивания воды в г. Спасске-Дальнем приведена на рис. 9.5. Принцип работы ВЭД заключается в следующем: исходная вода 1 от скважин подается в распределительный трубопровод 2, к которому подключены ряд ВЭД 3. ВЭД представляет собой колонну труб с увеличением их диаметра по ходу движения воды.

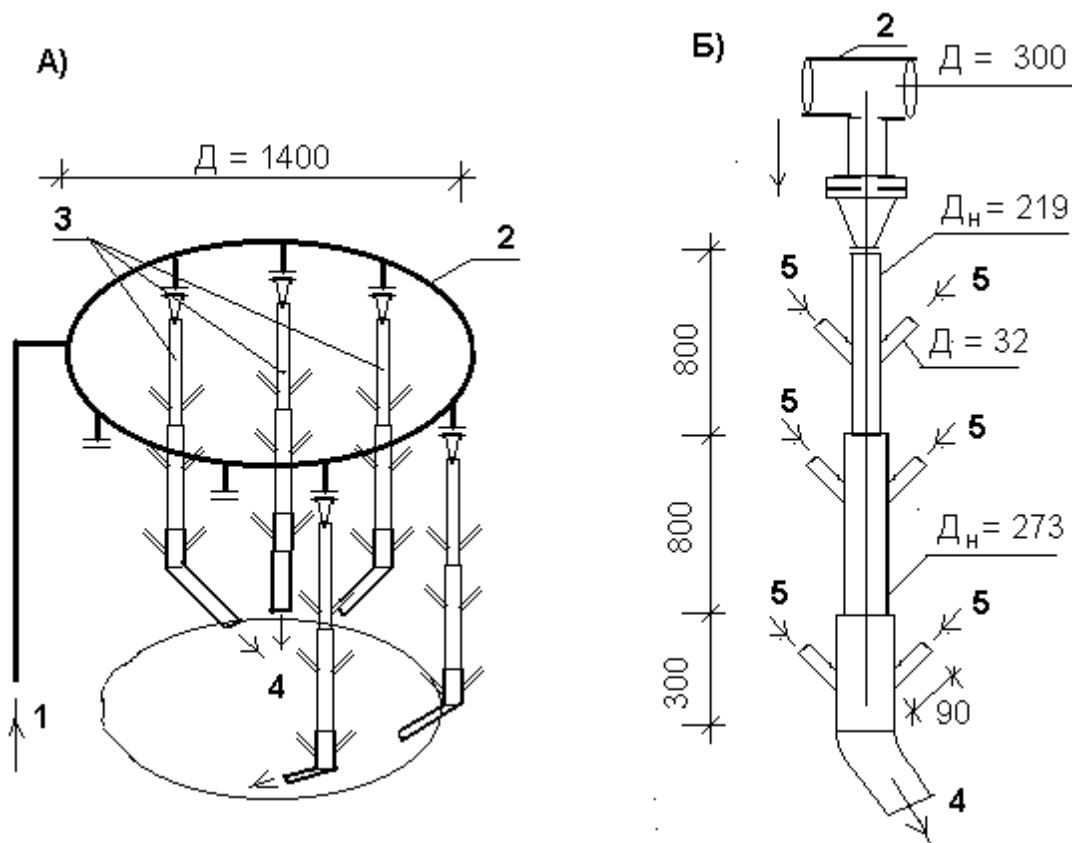


Рис.
9.5.
Вакуу-
мно-

эжекционные декарбонизаторы на станции обезжелезивания в Спаске-Дальнем: 1 - исходная вода; 2 - распределительное кольцо; 3 - ВЭД; 4 - отвод в резервуар; 5 - подсос воздуха

В верхней части агрегата установлено сопло, через которое с большой скоростью подается вода и падает вниз по колоннам труб. В колоннах образуется пониженное давление, в результате чего через патрубки, установленные на трубах, подсасывается наружный воздух 5 и образуется водовоздушная эмульсия. В этой среде происходит интенсивная десорбция углекислоты, отделение ее и воздуха от воды протекает в сборном резервуаре 4.

На рисунке показана установка с пятью ВЭД, производительностью каждого около $18 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для нормальной работы ВЭД скорость выхода воды из сопел должна составлять до 2 м/с , напор воды перед соплами должен быть не менее $25 - 35 \text{ м}$, что является главным недостатком устройства, так как для создания этого напора требуются большие затраты энергии.

Выбор аэрационного устройства определяется необходимостью повышения рН исходной воды для усиления процессов окисления и гидролиза. Эта необходимость, как правило, устанавливается при опытно обезжелезивании. Если процесс очистки успешно протекает при значениях рН исходной воды, то применяют простейшие аэраторы. В противном случае применяют более совершенные типы аэраторов с повышением рН до значения не менее $7,0$. Остаточная, после аэратора, концентрация двуокиси углерода, обеспечивающая необходимое значение рН определяется по номограмме в приложении 1 или по [7].

Пример. Выбор и расчет аэрационного устройства. Подземная вода имеет следующий состав: железо - 7 мг/л; щелочность - 0,7 мг-экв/л; температура - 5 °С; солесодержание 0,15 г/л; рН - 5,9; свободная двуокись углерода CO₂ - 80 мг/л. Производительность установки обезжелезивания Q составляет 800 м³/сут или 33,3 м³/ч.

В исходной воде рН очень низкое, а содержание свободной двуокиси углерода велико. С учетом распада бикарбоната железа начальная концентрация свободной двуокиси углерода составит

$$[\text{CO}_2]_{\text{н}} = 1,57 \text{ Fe} + \text{CO}_2, \quad (9.5)$$

где Fe - содержание железа в исходной воде, мг/л. В результате $[\text{CO}_2]_{\text{н}} = 91$ мг/л.

По оптимальному для обезжелезивания воды безреагентными методами значению рН = 7,5, значениям солесодержания, щелочности и температуры по номограмме в прил. 1 определяется остаточное, после аэратора, содержание двуокиси углерода в воде $[\text{CO}_2]_{\text{кон}} = 5$ мг/л. Для аэрации рекомендуется применение градири-дегазатора с деревянной хордовой насадкой, изображенной на рис. 9.4.

Площадь градири в плане А определяется по плотности орошения

$$A = Q / q = 33,3 / 40 = 0,83 \text{ м}^2,$$

где Q - производительность установки, м³/ч; q - плотность орошения.

Принимается к установке градири из двух секций площадью в плане каждой 1 x 0,8 м, одна из секций является резервной.

Расход воздуха L, м³/ч, принимается равным 15 м³ на 1 м³ обрабатываемой воды. В расчете на весь объем воды $L = 15 \cdot 33,3 = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Площадь поверхности оросителя F, м², определяется из основного уравнения десорбции

$$F = \frac{0,001Q([\text{CO}_2]_{\text{н}} - [\text{CO}_2]_{\text{кон}})}{K_{\text{ж}} \Delta C_{\text{ср}}}, \quad (9.6)$$

где $K_{\text{ж}} = 1,0$ м/ч, $[\text{CO}_2]_{\text{н}}$, $[\text{CO}_2]_{\text{кон}}$ описаны ранее; $\Delta C_{\text{ср}}$ - средняя движущая сила десорбции, кг/м³, определяемая для противоточных дегазаторов по формуле

$$\Delta C_{\text{ср}} = \frac{[(C_{\text{вх}} - C_{\text{р.вх}}) - (C_{\text{вых}} - C_{\text{р.вых}})]}{\ln[(C_{\text{вх}} - C_{\text{р.вх}}) - (C_{\text{вых}} - C_{\text{р.вых}})]}, \quad (9.7)$$

где $C_{\text{вх}} = 0,091$ кг/м³, $C_{\text{вых}} = 0,005$ кг/м³ - концентрации удаляемого газа на входе в дегазатор и выходе из него; $C_{\text{р.вх}}$ и $C_{\text{р.вых}}$ - равновесные концентрации газа в воде на входе и выходе в дегазаторе.

Перед выходом воды из аппарата, в него подается незагрязненный наружный воздух, с концентрацией двуокиси углерода в нем 4,6 % или $C_{\text{возд}} = 0,0575$ кг диоксида углерода на 1 м^3 воздуха. При такой концентрации в воздухе равновесная концентрация CO_2 в воде составляет около $C_{\text{р.вых}} \approx 0,0028$ кг/ м^3 .

На входе воды в дегазатор воздух, вместе с удаленным из воды диоксидом углерода CO_2 , удаляется и содержит следующее содержание двуокиси углерода $C = C_{\text{возд}} + 0,001 Q ([\text{CO}_2]_{\text{н}} - [\text{CO}_2]_{\text{кон}}) / L = 0,0575 + 0,001 \cdot 33,3 (91 - 11) / 500 = 0,0623$ г/ м^3 .

Концентрация двуокиси углерода в воздухе после прохождения дегазатора повышается в $0,0623 / 0,0575 = 1,1$ раза, пропорционально возрастает парциальное давление газа и его равновесная концентрация в воде на входе в дегазатор. То есть $C_{\text{р.вх}} = 0,0028 \cdot 1,1 = 0,0031$ мг/л.

Движущая сила десорбции будет равна

$$\Delta C_{\text{сп}} = [(90 - 3,1) - (5 - 2,8)] / \ln [(90 - 3,1) / (5 - 2,8)] = 0,036 \text{ кг/ м}^3.$$

Площадь насадка дегазатора равна

$$F = 0,001 \cdot 33,3 (91 - 11) / (1 \cdot 0,036) = 74 \text{ м}^2.$$

Площадь поверхности одного щита составляет

$$f_1 = f \cdot A = 3,8 \cdot 0,8 = 3,04 \text{ м}^2.$$

Потребное число деревянных щитов насадка

$$N = F / f_1 = 74 / 3,04 = 24 \text{ шт.}$$

При расстоянии между осями щитов 100 мм, высота насадка $H_{\text{нас}}$ составляет 2,4 м.

Сопротивление насадка по воздуху равно

$\Delta P = 10 H_{\text{нас}} = 10 \cdot 2,4 = 24$ мм вод. ст. С учетом сопротивлений прочих элементов градирни, равными 30 - 40 мм вод. ст., расчетный напор вентилятора должен быть не менее $P = 24 + 40 = 64$ мм вод. ст. или 64 Па.

При расчетной производительности 500 м³/ч и давлении 64 Па, возможно применение центробежного вентилятора Ц4-70 №2,5, с числом оборотов рабочего колеса 2800 об/мин и мощностью электродвигателя 0,6 квт. Габариты вентилятора: длина - 420 мм, ширина - 471 мм, высота - 450 мм. Размер выходного патрубка 170 x 170 мм.

Размеры остальных элементов принимаются по рекомендуемым значениям, с учетом принятых размеров определяются и общие габариты градирни-дегазатора.

9.2. Фильтры для обезжелезивания и деманганизации воды

Для обезжелезивания воды используются разнообразные фильтры, по конструкции аналогичные фильтрам для осветления воды. Чаще всего применяются скорые фильтры с нисходящей фильтрацией, поскольку для них удобно производить аэрацию воды и меньше опасность засорения дренажа окислами железа.

Фильтры с восходящим фильтрационным потоком обычно применяют при двухступенчатом фильтровании в качестве первой ступени, при этом не рекомендуется использовать щелевые дренажи.

Напорные фильтры с плавающей и тяжелой загрузкой применяются при небольшой (до 5000 м³/сут) производительности станции обезжелезивания.

В качестве фильтрующего материала используются практически все известные зернистой загрузки - от плавающей полистирольной до тяжелой из дробленых горных пород и металлургических шлаков. На Дальнем Востоке наибольшее распространение получил дробленый гранодиорит Корфовского месторождения.

Дробленые фильтрующие материалы отличается большей пористостью, чем песок и другие загрузки с окатанной поверхностью зерен. Кроме того, развитая поверхность зерен изломанной формы быстрее покрывается каталитической пленкой, активно влияющей на процесс обезжелезивания при аэрационных методах обезжелезивания. Однако названное достоинство проявляется лишь в начальный период эксплуатации фильтров. В дальнейшем зерна покрываются толстым слоем окислов, которые сглаживают поверхность, превращая зерна по форме близкой к шару, при этом пористость загрузки уменьшается до пористости песчаной. Наибольшее снижение пористости у загрузок с кавернами на поверхности - керамзита, туфов, шлаков, поэтому при расчете таких фильтров следует учитывать изменения структурных свойств загрузки. Плавающая полимерная загрузка также не имеет заметных технологических преимуществ и нашла применение из-за оригинальной конструкции самих фильтров с плавающей загрузкой (ФПЗ) и изменяющейся в связи с этим технологической схемы. Опытное испытание в фильтрах станции обезжелезивания в г. Южно-Сахалинске выявили ее существенные недостатки в описываемых процессах очистки воды.

Для кварцевого песка и других фильтрующих материалов, близких ему по плотности, характеристика фильтрующего слоя и параметры режима эксплуатации для метода упрощенной аэрации приведены в прил. 1.

При использовании других методов обезжелезивания параметры загрузки скорых фильтров принимаются по [7] как для фильтров осветлительных.

9.2.1. Скорые безнапорные фильтры

Конструкция скорого безнапорного фильтра для обезжелезивания воды мало отличается от фильтров осветления (рис. 2.1). При методе обезжелезивания с упрощенной аэрацией производят излив исходной воды в карман или центральный канал с высоты 0,5 - 0,6 м над наибольшим уровнем воды в фильтре. Для улучшения аэрации, над рабочей поверхностью фильтра иногда прокладывают распределительный дырчатый трубопровод для разбрызгивания воды, как это показано на рис 9.3.

Скорые безнапорные (открытые) фильтры площадью до 40 м² проектируют с боковым каналом (карманом), при большей площади - с центральным. Скорость фильтрования определяется гранулометрическим составом загрузки и поддерживается постоянной или переменной. Постоянную скорость можно достичь при помощи регуляторов, устанавливаемых на выходе воды из фильтра.

Обычно в фильтрах предусматривается повышение уровня воды по мере кольматации загрузки и увеличения ее гидравлического сопротивления. В период промывки расход, предназначенный для промываемого фильтра, направляется на оставшиеся, в которых вызывает увеличение уровня воды.

В современных фильтрах для сбора профильтрованной и распределения промывной воды используются, как правило, дренажные системы большого сопротивления. Наиболее распространенные дренажи скорых фильтров показаны на рис 9.6. Трубчатый дырчатый дренаж устраивают с поддерживающими слоями. Крупность фракций и высота поддерживающих слоев принимается по табл. 9.1.

Таблица 9.1.

Поддерживающие слои скорых фильтров

Крупность зерен, мм	Высота слоя, мм
40 - 20	Верхняя граница слоя должна быть на уровне верха распределительной трубы, но не менее чем на 100 мм выше отверстий
20 - 10	100 - 150
10 - 5	100 - 150
5 - 2	50 - 100

Примечание: При водовоздушной промывке с подачей воздуха по трубчатой системе, слои крупностью 10 - 5 мм и 5 - 2 мм принимают по 150 - 200 мм.

Щелевые, колпачковые и дренажи из пористого полимербетона применяют без поддерживающих слоев.

Трубчатый дырчатый дренаж выполняется в виде коллектора с ответвлениями из труб с круглыми отверстиями 10 - 12 мм, направленными вниз под углом 45° к вертикали. Для удаления воздуха из дренажа на коллекторе с противоположной стороны от входа устанавливают стояк-воздушник диаметром 75-150 мм с вантузом или вентиляем в верхней части. Коллектор обычно располагают в центре фильтра с одинаковыми ответвлениями в обе стороны от коллектора (рис. 9.6 а), но может прокладываться вдоль одной его стенки (иногда снаружи фильтра). В этом случае ответвления направлены в одну сторону (рис.9.6 б). В фильтрах с центральным каналом коллектор размещают под днищем канала (рис.9.6 в).

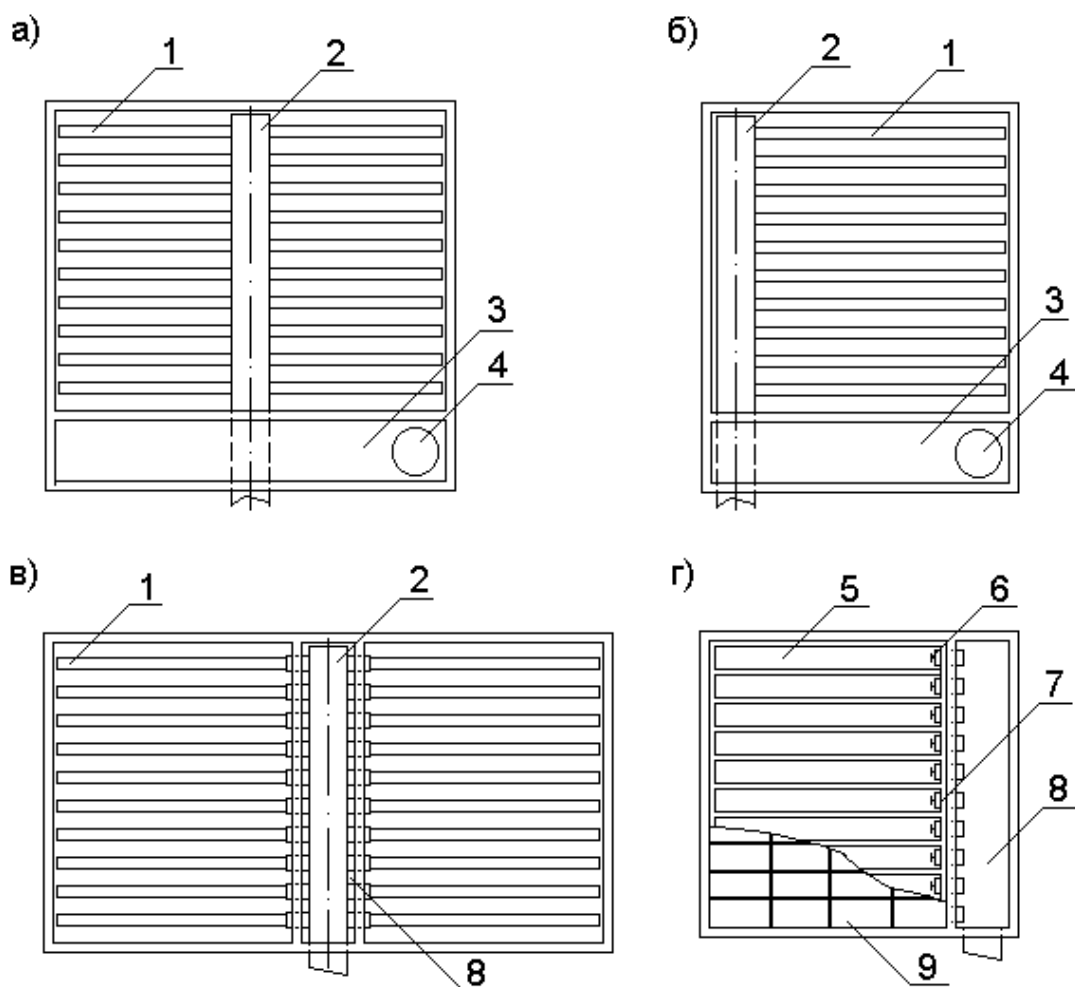


Рис. 9.6. Дренажи скорых фильтров: а) - трубчатый дренаж в фильтрах с боковым каналом с центральным размещением коллектора; б) - трубчатый дренаж в фильтрах с боковым каналом и боковым размещением коллектора; в) - трубчатый дренаж в фильтрах с центральным каналом; г) - дренаж из полимербетонных плит; 1 - перфорированные (дырчатые, щелевые) ответвления; 2 - коллектор; 3 - водосборный канал; 4 - отвод промывных вод из канала; 5 - дренажный канал; 6 - отражатель; 7 - патрубок; 8 - водораспределительный канал; 9 - полимербетонная плита.

Ответвления трубчатых дренажей с щелевой перфорацией выполняются из нержавеющей стали или пластмассы. Щели нарезают шириной на 0,1 мм меньше наименьшего диаметра зерен загрузки равномерно поперек оси и по периметру трубы не менее чем в два ряда. Пластмассовые (обычно полиэтиленовые) ответвления насаживаются горячими на патрубки, приваренные к коллектору. Размещение коллектора и ответвлений аналогично дырчатому дренажу.

Колпачковый дренаж применяется при нисходящей фильтрации и водовоздушной промывке. Число колпачков должно быть 35 - 50 на квадратный метр площади фильтра. Колпачки крепятся на патрубки, закрепляемые в ложном днище, или на трубчатом дренаже.

Полимербетонный дренаж выполняется в виде каналов, расположенных перпендикулярно коллектору (водораспределительному каналу), перекрытых

полимербетонными плитами толщиной не менее 40 мм (рис. 9.6 г). Иногда поперек каналов под плиту укладывают железобетонные колосники. Дренаж применяется как при водяной, так и водовоздушной промывке. Промывка скорых фильтров осуществляется водой с расширением загрузки или водой и воздухом без расширения загрузки с низким горизонтальным отводом промывных вод.

При водяной промывке фильтров предусматриваются водосборные желоба полукруглого или пятиугольного сечения (рис. 9.7), расстояние между осями которых должны быть не более 2,2 м. Желоба размещают перпендикулярно водосборному каналу таким образом, чтобы площади фильтра, ими обслуживаемые, были равны. Из этих соображений расстояния от крайних желобов до стенок фильтра принимают в два раза меньшими, чем между соседними желобами. Лотки желобов прокладывают с уклоном 0,01 к сборному каналу.

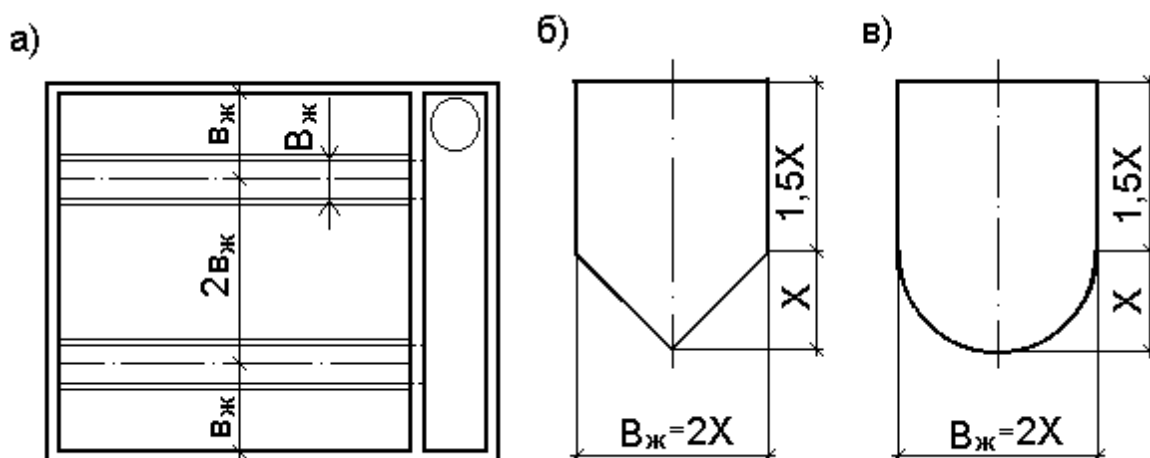


Рис. 9.7. Желоба для сбора промывных вод: а) - схема размещения желобов в фильтре; б) - желоб пятиугольного сечения; в) - желоб полукруглого сечения

В сборный канал подается исходная вода и сливается промывная, которая отводится в канализацию трубопроводом большего диаметра, чем водораспределительный коллектор. Ширина канала должна быть не менее 0,7 м.

9.2.2. Фильтры с низким горизонтальным отводом промывных вод

При использовании водовоздушной промывки рекомендуется применять горизонтальный отвод промывных вод [7]. Конструкция такого фильтра показана на рис. 9.8.

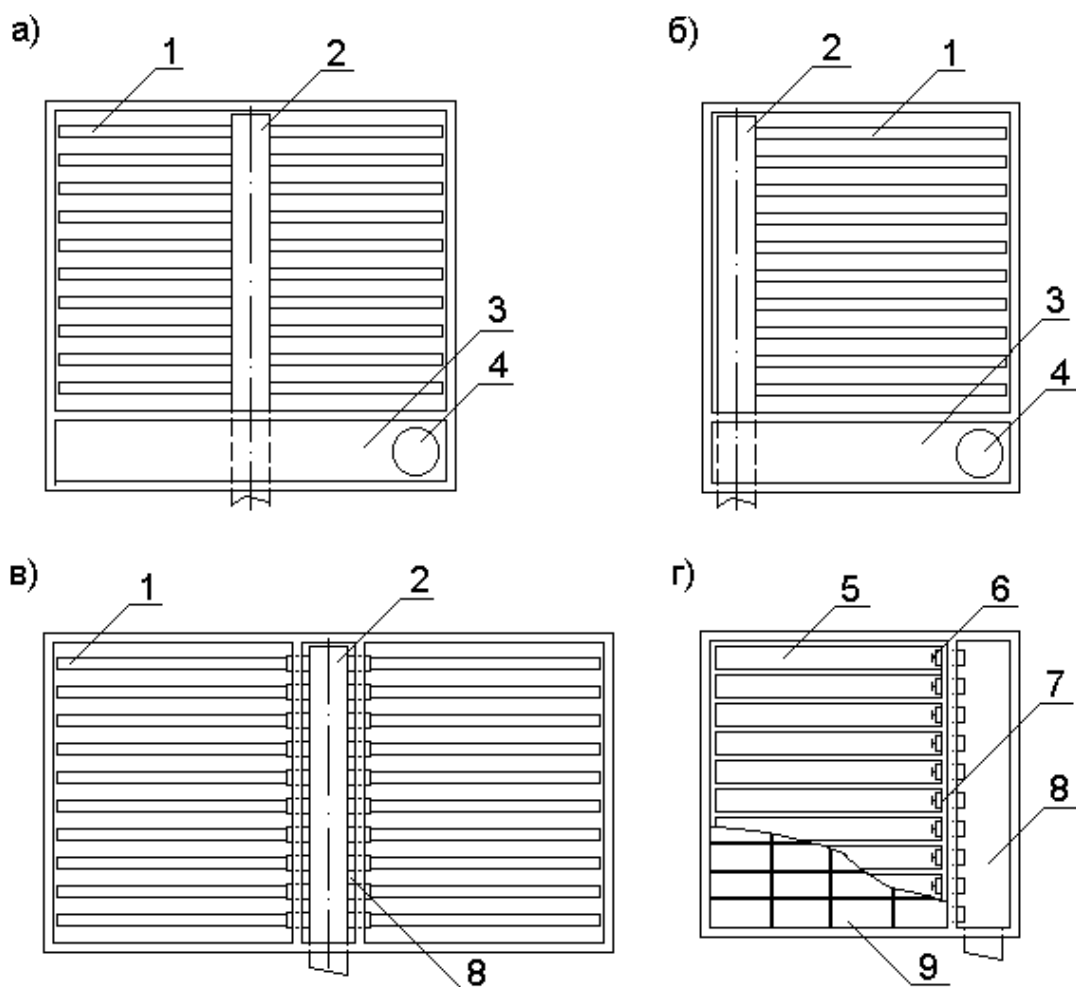


Рис.

9.8. Фильтр с низким горизонтальным отводом промывных вод: а) - разрез; б) - план; в) - элементы водослива; г) - водоотбойная стенка; 1 - стояк подвода воздуха; 2 - воздушник; 3 - слой воды; 5 - желоб водослива; 6 - водосборный канал; 7 - отвод фильтрата; 8 - коллектор промывной воды; 9 - отвод промывной воды; 10 - фильтрующая загрузка; 11 - поддерживающие слои; 12 - ответвления водяного дренажа; 13 - коллектор воздушного дренажа; 14 - ответвления воздушного дренажа; 15 - пескоотбойная стенка; 16 - щель между отбойной и водосливной стенками.

В отличие от традиционных фильтров промывка осуществляется без расширения зернистой загрузки промывным потоком. Это становится возможным за счет хорошего выравнивания сопротивления в слое загрузки и оттирания загрязнений от зерен воздушным потоком. Вода лишь выносит загрязнения из загрузки и транспортирует их в канал, поэтому ее слой над загрузкой принимается минимальным. Отсутствие расширения исключает опасность смещения поддерживающих слоев, что доставляет частые неприятности при традиционной водяной промывке.

Конструкция фильтра с горизонтальным отводом промывных вод отличается от традиционного наличием водослива со стороны сборного канала и направляющего выступа с противоположной стороны (рис. 9.8 г). Для предотвращения выноса загрузки перед водосливом устанавливается

пескоулавливающий треугольный желоб, стенками которого служат водослив и отбойная стенка (доска).

Размеры элементов водослива находят по табл. 9.2. и рис. 9.8 в. в зависимости от удельного расхода промывной воды q , л/(м с), определенного по формуле

$$q = b w_{\text{пр}}, \quad (9.8)$$

где b - ширина водослива, м, равная длине горизонтального пути движения воды к водосливу, т.е. ширине фильтра; $w_{\text{пр}}$ - интенсивность подачи промывной воды, л/(с · м²).

Таблица 9.2.

Расчет размеров водослива

Разность отметок, мм	Удельный расход промывной воды q , л / (м · с)			
	10	15	20	25
между верхней и нижней кромками водосливной стенки H_1	170	210	260	310
между верхними кромками водосливной и отбойной стенок H_2	20	20	20	20

Для подачи воздуха под водяным трубчатым дренажем устраивают трубчатый воздушный. В фильтрах с центральным каналом (рекомендуется при площади фильтра более 40 м²), коллектор промывной воды прокладывается под каналом, а воздушный коллектор - параллельно водяному с противоположной от канала стороны внутри секции фильтра. Ответвления воздушного коллектор прокладываются ниже водяных точно в центре между ними. В фильтрах с боковым каналом (карманом) коллекторы небольшого диаметра могут располагаться один под другим. По другому варианту водяной коллектор прокладывается по центру фильтра, а воздушный разбивается на две симметричные ветви. Каждая ветвь коллектора прокладывается параллельно оси водяного коллектора вдоль боковых стенок секции фильтра. Ответвления от каждого коллектора направлены к центру фильтра и располагаются ниже ответвлений водяного дренажа точно между ними. В этом случае каждая ветвь воздушного дренажа рассчитывается на подачу воздуха для половины площади фильтра. По краям фильтра размещают воздушные трубы, а не водяные.

Ответвления присоединяются к воздушному коллектору по нижней образующей отводами (коленами под углом 90°). Магистраль прокладывается на высоте, исключающей попадание воды при отключении воздухоудовки, обычно выше зеркала воды при промывке на 3-4 м и присоединяется к коллектору со стороны торца вертикальным стояком.

На ответвлениях высверливают отверстия диаметром 3-5 мм или щели в ширину 0,5 мм и длиной 15-25 мм перпендикулярно оси трубы, которые располагают в шахматном порядке по двум образующим под углом 45° к вертикали на расстоянии 100 -180 мм одни от других.

Возможно устройство единого трубчатого воздушно-водяного дренажа. Для водовоздушной промывки применяют также дренажи из полимербетона и колпачковые дренажи (в фильтрах небольшой площади). Для полимербетонных дренажей подача воздуха осуществляется дырчатыми трубами, проложенными по дну каналов фильтра под дренажной плитой. В фильтрах со щелевыми колпачками под ложным днищем (дренажной плитой) прокладывается дырчатый дренаж для промывной воды и над ним - дырчатый дренаж для воздуха.

Водовоздушная промывка осуществляется в три этапа:

1-й - подача в загрузку воздуха для разрушения взвеси в загрузке и выравнивания ее сопротивления по площади фильтра в течение 1-2 минут с интенсивностью 15-20 л /с м²;

2-й - подача воздуха и воды 4-7 минут с целью полного разрушения и выноса основной массы загрязнений из загрузки; интенсивность подачи воздуха 15-20 л /с м², воды - 2,5-3,5 л /с м²;

3-й - подача воды для удаления остатков загрязнений и заземленного воздуха в течение 5-7 минут с интенсивностью 5-7 л /с м².

Для единого водовоздушного дренажа второй этап не проводят из-за опасности выноса загрузки в канал вследствие пульсирующего поступления воды и воздуха.

Фильтры с низким горизонтальным отводом промывных вод могут работать с восходящим и нисходящим движением потока подаваемой на очистку воды. Это обычно используется в двухступенчатых схемах, когда на первую ступень вода направляется снизу вверх, а на вторую - сверху вниз. При этом высотное положение фильтров более компактное, нежели при каскадном движении воды в обоих фильтрах - только сверху вниз.

9.2.3. Напорные фильтры

Напорные фильтры выпускаются вертикальными - одно - двух и трехкамерными и горизонтальными, и рассчитаны на рабочее давление до 0,6 МПа. Они представляют собой закрытые металлические резервуары, оборудованные дренажно-распределительной системой и необходимыми трубопроводами (рис. 9.9).

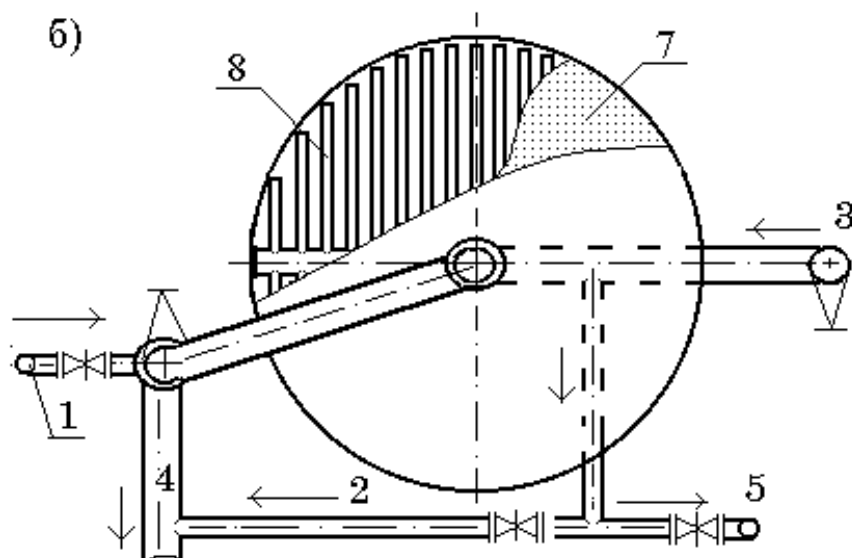
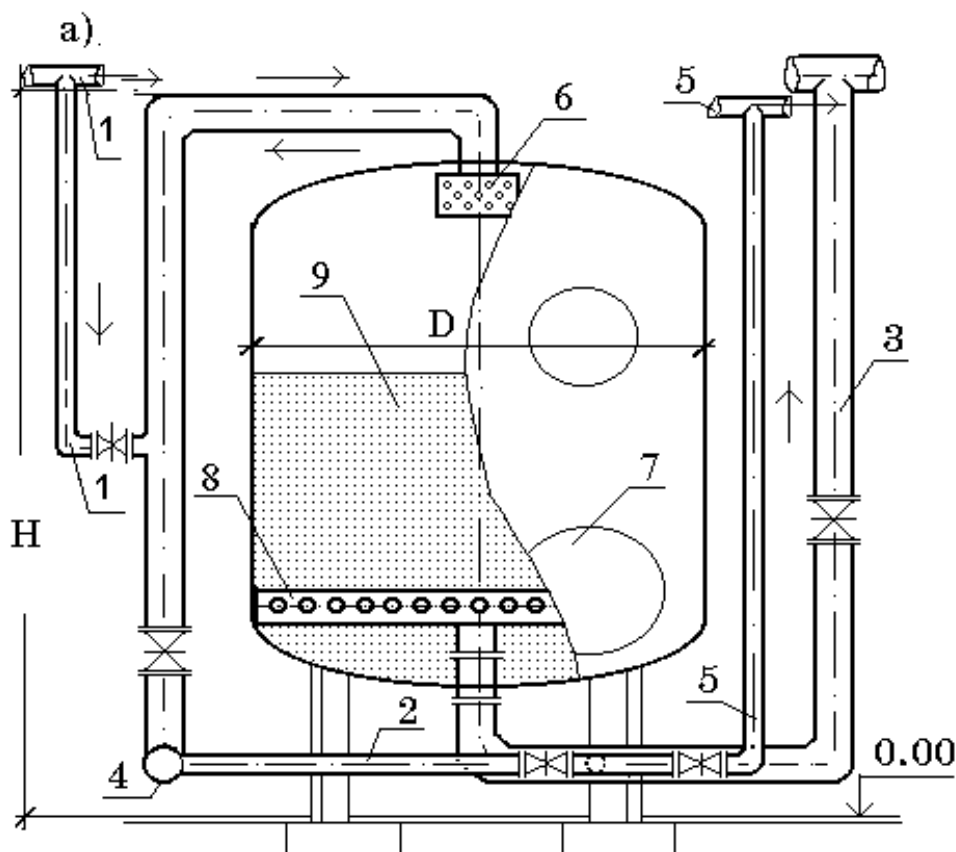


Рис. 9.9. Вертикальный напорный фильтр с водяной промывкой: а) - вид в профиль; б) - план; 1 - подача исходной воды; 2 - сброс первого фильтрата; 3 - подвод промывной воды; 4 - сброс сточных вод; 5 - отвод фильтрата; 6 - водораспределитель; 7 - люк; 8 - трубчатый дренаж из щелеванных труб; 9 - фильтрующая загрузка

Вертикальные однокамерные фильтры выпускаются диаметром 1000 - 3400 мм и

высотой 2964 - 4545 мм. Напорные фильтры при наличии поддерживающих слоев снабжены трубчатой дырчатой дренажной системой. Чаще применяются фильтры без поддерживающих слоев, у них дренаж выполняется из щелеванных труб или колпачков, закрепленных в ложном днище или на распределительных трубах.

Фильтрующая загрузка выполняется слоем 1-1,2 м. Используется водяная и водовоздушная промывка. Водовоздушной промывка производится с расширением фильтрующего слоя. Воздушный трубчатый дренаж размещают обычно под водяным дренажем. При использовании колпачкового дренажа вода и воздух подаются через одни и те же колпачки. В таблице 9.3 даны основные

характеристики напорных фильтров. Количество напорных фильтров принимается равным не менее двух.

Таблица 9.3.
Напорные фильтры

Наименование фильтра	Обозначение (шифр)	Диаметр D , мм	Высота H , мм	Нагр ма
Осветлительный вертикальный однокамерный	ФОВ - 1,0 - 6	1000	2964	
	ФОВ - 1,0 - 6	1000	3040	
	ФОВ - 1,4 - 6	1400	3392	
	ФОВ - 1,5 - 6	1500	3357	
	ФОВ - 2,0 - 6	2000	3630	
	ФОВ - 2,6 - 6	2600	4015	
	ФОВ - 3,0 - 6	3000	4385	
	ФОВ - 3,4 - 6	3400	4545	
То же двухкамерный	ФОВ 2К - 3,4 - 6	3400	5500	
Осветлительный горизонтальный	ФОГ - 3,6 - 5,5	3000	4630 x 5510	
	ФОГ - 3,6 - 10,5	3000	4630 x 10500	
Механический вертикальный однокамерный	ХВ - 044 - 1	1000	2912	
	ХВ - 044 - 2	1500	3298	
	О - 2	2000	3620	
	О - 2,6	2600	4000	
	О - 3	3000	4370	
	О - 3,4	3400	4530	

9.2.4. Расчет фильтров обезжелезивания и демангации воды

До начала расчета следует выбрать тип фильтра, материал и параметры зернистой загрузки, а также соответствующую скорость фильтрования в соответствии с п.9.2. Далее порядок расчета одинаков для всех конструкций фильтров.

1. Определяется суммарная площадь фильтров, m^2

$$F_{\phi} = Q / (T_{\text{ст}} v_{\text{н}} - n_{\text{пр}} q_{\text{пр}} - n_{\text{пр}} \tau_{\text{пр}} v_{\text{н}})$$

(9.9)

где Q - полезная производительность очистных сооружений, m^3 /сут; $T_{\text{ст}}$ - продолжительность работы станции в течение суток, ч; $V_{\text{н}}$ - расчетная скорость

фильтрации в нормальном режиме, м/с; $n_{пр}$ - число промывок одного фильтра за сутки при нормальном режиме эксплуатации.

В формуле (9.9)

$$q_{пр} = \omega \cdot 60 t / 1000 \quad (9.10)$$

здесь ω - интенсивность промывки, л/с · м²; t - продолжительность промывки, мин, принимаемые по табл. 9.1.

2. Число фильтров на станциях производительностью более 100 м³/сут должно быть не менее двух. Количество фильтров рассчитывается с округлением до целого числа по формуле

$$N_{ф} = 0,5 \sqrt{F_{ф}} \quad (9.11)$$

3. Определяется площадь одного фильтра $f_{ф}$ и назначаются его размеры в плане, близкие к квадрату, придерживаясь стандартных модулей.

4. Рассчитывают дренажную систему из условия промывки фильтра и типа выбранного дренажа. Определяют расчетный промывной расход воды, л/с,

$$q_{пр} = w_{пр} f_{ф} \quad (9.12)$$

Для трубчатого дренажа определяется диаметр коллектора на пропуск промывного расхода со скоростью 0,8-1,2 м/с. Намечается количество и положение ответвлений от коллектора из условия, что расстояние между их осями принимается 250 - 350 мм. Диаметры труб ответвлений находят по скорости входа в них промывной воды 1,6 - 2 м/с. От низа ответвлений до дна фильтра принимают не менее 80-120 мм.

При наличии поддерживающих слоев на ответвлениях предусматривают отверстия диаметром $d_0 = 10 - 12$ мм, при их отсутствии - щели шириной на 0,1 мм меньше минимального размера зерен загрузки. Общая площадь отверстий должна составлять 0,25 - 0,3 %, а щелей - 1,5 - 2,0 % площади фильтра. Общее число отверстий равно

$$n_0 = (0,0025 - 0,003) 4 f_{ф} / \pi d_0^2 \quad (9.13)$$

Отверстия размещают в два ряда в шахматном порядке под углом 45° к низу от вертикали через 150-200 мм. Щели располагают равномерно поперек оси и по периметру не менее чем в два ряда с расстоянием не менее 20 мм.

5. Водяной дренаж фильтров с водовоздушной промывкой без расширения загрузки рассчитывают на пропуск расхода воды, соответствующий интенсивности 5-7 л/с · м². Круглые отверстия располагают по нижней образующей труб в один ряд. Суммарная площадь отверстий составляет 0,18-0,22 % площади фильтра.

6. Трубчатый воздушный дренаж рассчитывают на пропуск максимального расхода воздуха, л/с, при интенсивности $w_{в} = 15-20$ л / с · м²:

$$q_{в} = w_{в} f_{ф}. \quad (9.14)$$

Отверстия диаметром 3-5 мм размещают в шахматном порядке по двум образующим под углом 45° к вертикали при направлении их вниз. В каждом

ряду отверстия располагаются с шагом 100-180 мм. Щели нарезают перпендикулярно оси трубы шириной 0,5 мм и длиной в свету 15-25 мм.

Воздушный дренаж рассчитывают по скорости движения воздуха: в коллекторе - 7-10 м/с; в ответвлениях - 13-17 м/с; в отверстиях - 45-50 м/с. Скорость движения воздуха в подводящих на фильтры трубопроводах принимается 18-25 м/с.

Более точно воздушный дренаж рассчитывается по величине суммарной площади, m^2 , сечения отверстий (для труб) или ответвлений (для коллектора) f по формулам [11]:

$$f \leq \frac{aF}{\mu \sqrt{1-\xi}} \quad \text{при } z < 1; \quad (9.15)$$

$$f \leq \frac{aF}{\mu \sqrt{\xi-1}} \quad \text{при } z > 1. \quad (9.16)$$

где a - характеристика трубопровода, определяемая из рис.9.10. в зависимости от допустимой степени неравномерности распределения воздуха по площади сооружения, имея в виду, что общая неравномерность $\Delta_{\text{общ}}$ является суммой неравномерностей распределения в ответвлениях Δ_0 и в коллекторе $\Delta_{\text{кол}}$, причем должно быть $\Delta_{\text{общ}} = \Delta_0 + \Delta_{\text{кол}} \leq 0,02$; F - площадь поперечного сечения рассматриваемого трубопровода (ответвления или коллектора), m^2 ; μ - коэффициент расхода; для ответвлений находящихся в зернистой загрузке определяется в зависимости от диаметра зерен по рис.9.10, при расположении их в гравийном слое принимается $m = 0,54$.

Для коллектора коэффициент расхода $\mu_{\text{кол}}$ определяется по формуле

$$\mu_{\text{кол}} = \sqrt{\frac{1}{5,5 + \psi_{\text{общ}}}}, \quad (9.17)$$

где $\psi_{\text{общ}}$ - общий коэффициент сопротивления.

$$\psi_{\text{общ}} = \frac{1 - \xi_0}{\sin^2\left(\frac{a_0 \cdot 180}{\pi}\right)} + \xi_0, \quad (9.18)$$

где ξ_0 и a_0 - параметры для ответвлений; ξ - коэффициент сопротивления трубопровода определяют по формуле

$$\xi = 0,0044 \frac{L}{d}. \quad (9.19)$$

7. Рассчитывается высота фильтра, м:

$$H_{\phi} = H_3 + H_{\text{пс}} + H_{\text{в}} + H_{\text{доп}} + 0,5, \quad (9.20)$$

где - H_3 - высота фильтрующего слоя по табл.9.1; $H_{\text{пс}}$ - толщина поддерживающих слоев, принимаемая при их наличии по табл.9.2; $H_{\text{в}}$ - высота слоя воды над поверхностью загрузки, принимается не менее 2 м; $H_{\text{доп}}$ - дополнительная высота слоя воды, накапливающаяся во время промывки и отключения промываемого фильтра на остальных, рассчитывается при постоянной скорости фильтрования по формуле

$$H_{\text{доп}} = \frac{W_0}{F(N-1)}, \quad (9.21)$$

где W_0 - объем воды, м^3 , накапливающийся во время простоя промываемого фильтра, который может быть найден по формуле

$$W_0 = \frac{Q}{T_{\text{ст}} N_{\phi}} \tau_{\text{пр}}. \quad (9.22)$$

8. Определяются размеры желобов для сбора и отвода промывной воды. Количество желобов принимается из условия, что расстояние между их осями не должно быть больше 2,2 м, а расстояние от крайних желобов до стенок фильтра в два раза меньше, чем между соседними желобами (рис. 9.7).

Ширина желобов $B_{\text{ж}}$, м, вычисляется по формуле

$$B = K \sqrt[5]{\left(\frac{q}{n_{\text{жел}}}\right)^2 \frac{1}{(1,57 + a_{\text{жел}})^3}}, \quad (9.23)$$

где K - коэффициент, зависящий от формы сечения желобов, принимается $K = 2,0$ - для желобов с круглым лотком; $K = 2,1$ - для пятиугольных желобов; q - промывной расход фильтра, m^3/c ; $a_{\text{жел}}$ - отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимается в пределах от 1 до 1,5; $n_{\text{жел}}$ -

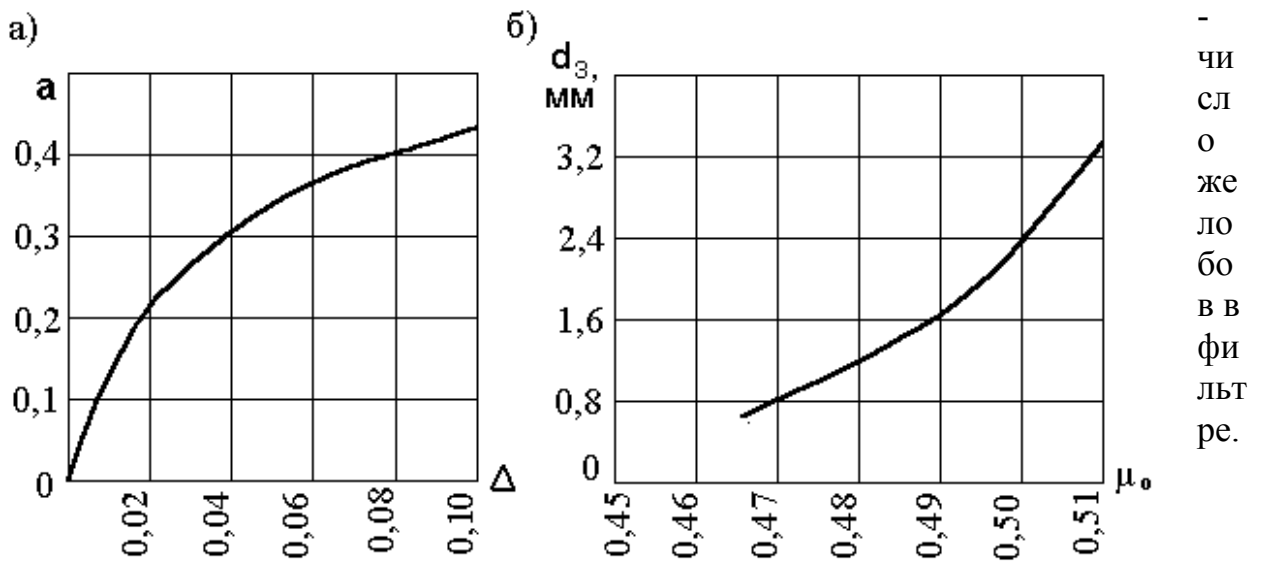


Рис. 9.10. Номограммы для расчета характеристик дренажа: а) - зависимость неравномерности распределения воздуха Δ от характеристики трубопровода a ; б) - зависимость коэффициентов μ_0 и μ_0 от крупности зерен загрузки d_3 ,

Высота желоба находится согласно рис.9.7. Верхняя кромка желобов находится над загрузкой на расстоянии $H_{\text{ж}}$, м,

$$H_{\text{ж}} = \frac{H_3 a_3}{100} + 0,3 \quad (9.24)$$

где H_3 и a_3 - параметры фильтрующей загрузки по табл. 9.1.

9. Водосборный боковой или центральный канал проектируется шириной $B_{\text{кан}} = 0,7-1,0$ м. Дно канала из условия должно быть ниже дна желоба на высоту, м,

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \sqrt[3]{q_{\text{кан}}^2 / gV_{\text{кан}}^2} + 0,2 \quad (9.25)$$

10. Определяются потери напора в фильтре при промывке, которые складываются из потерь напора в дренаже, поддерживающих слоях (при наличии) и фильтрующем слое загрузки. В дренажной системе большого сопротивления потери напора, м, вычисляются по формуле

$$h_{\text{д}} = \xi V_{\text{к}}^2 / 2g + V_{\text{б.о.}}^2 / 2g \quad (9.26)$$

где ξ - коэффициент гидравлического сопротивления, который определяется: $\xi = 2,2 / \omega^2 + 1$ - для дырчатой распределительной трубы и $\xi = 4 / \omega^2 + 1$ - для щелеванной распределительной трубы; ω - отношение суммы площадей всех отверстий в ответвлениях к площади поперечного сечения коллектора; $V_{\text{к}}$ - фактическая скорость промывной воды в начале коллектора; $V_{\text{б.о.}}$ - фактическая скорость в боковых ответвлениях.

Обычно потери напора в дренаже составляют от 3 до 5 м, но не должны быть более 7 м. Потери напора в поддерживающих гравийных слоях, м, рассчитываются по формуле

$$h_{\text{пс}} = 0,22 H_{\text{пс}} \omega_{\text{пр}} \quad (9.27)$$

Потери напора в фильтрующем слое, м, определяются из выражения

$$h_{\text{фс}} = (a + b\omega_{\text{пр}}) H_{\text{з}} \quad (9.28)$$

где **a** и **b** - параметры, равные соответственно 0,76 и 0,017 для кварцевого песка с размером зерен 0,5 - 1,0 мм; 0,85 и 0,04 - для зерен 1,0 - 2,0 мм.

11. Расчет промывных устройств зависит от принятой схемы промывки. При использовании промывного насоса его необходимый напор, м, может быть найден по формуле

$$H_{\text{н}} = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{нр}} + h_{\text{д}} + h_{\text{пс}} + h_{\text{фс}} + \Sigma h + 1,5 \quad (9.29)$$

где $Z_{\text{ж}}$ и $Z_{\text{нр}}$ - отметки соответственно верхней кромки желоба и нижнего уровня воды в резервуаре чистой воды; Σh - сумма потерь напора в трубопроводе, подводящем воду на промывку; 1,5 - резерв напора.

Производительность промывного насоса $Q_{\text{н}}$, м³/ч, определяется по формуле

$$Q_{\text{н}} = 3,6 f_{\text{ф}} \omega_{\text{пр}} \quad (9.30)$$

Кроме рабочего устанавливается один резервный насос.

При промывке фильтров от бака промывной башни ее емкость рассчитывают на две промывки, м³,

$$W_{\text{б}} = 2f_{\text{ф}} \omega_{\text{пр}} 60 \tau / 1000 \quad (9.31)$$

Отметка дна бака типовой башни должна быть не менее

$$Z_{дб} = Z_{ж} + h_{д} + h_{пс} + h_{фс} + \Sigma h + 1,5 \quad (9.32)$$

Подача насоса, м³/ч, для пополнения бака башни рассчитывается на его заполнение из резервуара чистой воды за период между промывками по формуле

$$Q_{н} = W_{б} N_{ф} / (T_{ст} - n_{пр} \tau_{пр}) \quad (9.33)$$

Приведенная формула предполагает промывку за один цикл по два фильтра через равные промежутки времени в течение суток. При ином режиме промывки в знаменателе подставляется фактическое время между промывками.

Напор насоса подкачки воды в башню равен, м:

$$H_{н} = Z_{вб} - Z_{нр} + \Sigma h_{пр} + 1,5 \quad (9.34)$$

где $Z_{вб}$ - отметка верхнего уровня воды в баке башни; $\Sigma h_{пр}$ - потери напора в трубопроводе, при восполнении промывного запаса башни.

Допускается забор воды для пополнения башни из трубопровода профильтрованной воды, если он не превышает половины расхода фильтрата.

12. Воздуходувное устройство (воздуходувка, компрессор) должно обеспечивать пусковой и промывочный режим работы. В пусковом режиме давление приблизительно равно удвоенной высоте столба воды в фильтре считая от дна, а расход воздуха - 5-10 % от расчетного, найденного по формуле, м³/мин,

$$Q_{в} = 0,06 \omega_{в} f_{ф}$$

(9.35)

В рабочем режиме давление принимается сумме высоты столба воды и потерь напора в подающей системе (принимаются ориентировочно равными 1 м), а подача равна расчетному расходу воздуха по формуле (9.14). При подборе воздуходувного оборудования давление принимается на 0,005 МПа больше расчетного. Дополнительно устанавливается резервный агрегат.

Пример расчета скорого фильтра с водяной промывкой. Расчетная производительность очистных сооружений $Q = 36000$ м³/сут. Принимаются скорые фильтры с водяной промывкой, с песчаной загрузкой из песка гранодиоритового диаметром зерен 1-2 мм и высотой слоя 1200 мм, скоростью фильтрования 8 м / ч. Интенсивность каждой из двух промывок принята 18 л/с м², продолжительность промывки 6 минут. Суммарная площадь фильтров по формуле (9.9) будет равна

$$F_{ф} = 36\,000 / (24 \times 8 - 3,6 \times 2 \times 18 \times 0,1 - 2 \times 0,33 \times 8) \gg 210 \text{ м}^2.$$

Количество фильтров должно быть по (9.11)

$$N_{ф} = 0,5 \text{ О } 210 \gg 7 \text{ шт.}$$

Площадь одного фильтра $f_{ф} = 210 : 7 = 30 \text{ м}^2$, приняты фильтры с боковым водосборным каналом (карманом) и размерами в плане 6 x 5 м.

Расчет трубчатого дырчатого дренажа большого сопротивления. Расчетный расход промывной воды на один фильтр по формуле (9.12) составит $q_{пр} = 30 \times 18 = 540$ л/с. Диаметр коллектора принят равным 800 мм при

скорости входа воды в коллектор $V_k = 1,07$ м/с. Принимается по 17 ответвлений от коллектора с каждой стороны с расстоянием в осях между ними 294 мм.

Расход воды, поступающей в каждое ответвление равен $q_{отв} = 540 : 34 = 15,9$ л/с. Принимается диаметр ответвлений 100 мм при скорости входа воды $V_{б.о.} = 1,82$ м/с. В нижней части ответвлений под углом 45^0 к вертикали в два ряда предусматриваются отверстия диаметром 10 мм. Их общее число по формуле (9.13) будет

$$n_0 = 0,0025 \times 4 \times 30 / 3,14 \times 0,010^2 = 955 \text{ шт.}$$

Расстояние между отверстиями в каждом ряду будет равно

$$L_0 = 2600 \times 34 \times 2 / 955 = 185 \text{ мм.}$$

Поддерживающие слои фильтра включают: нижний слой гравия с размером зерен 40-20 мм, принимается на 100 мм выше оси ответвлений или $(800 / 2) + 100 = 500$ мм от днища фильтра; слой с размерами зерен 20-10 мм принимается равным 100 мм; с размерами зерен 10-5 и 5-2 мм принимаются также равными по 100 мм.

Общая высота поддерживающих слоев составляет 800 мм от днища фильтра или 400 мм от отверстий дренажа.

Определение высоты фильтра. Во время промывки одного фильтра, фильтрование воды в остальных принимается с постоянной скоростью. Дополнительная высота фильтра определена по формулам (9.21, 9.22).

$$H_{доп} = 36\,000 \times 0,33 / 24 \times 30 \times 7 \times (7 - 1) \gg 0,4 \text{ м}$$

Высота фильтра по формуле (9.16) равна

$$H_{ф} = 1200 + 800 + 2000 + 400 + 500 = 4900 \text{ мм.}$$

Для отвода промывных вод предусматривается три желоба с полукруглым дном. Расстояние между осями желобов составляет 2,0 м. Ширина желоба по формуле (9.23) будет равна:

$$B = 2 \sqrt[5]{\left(\frac{0,54}{3}\right)^2 \frac{1}{(1,57 + 1)^3}} = 0,58 \text{ м.}$$

Высота желоба также составит 0,58 м. Высота кромки желоба над загрузкой при расширении слоя на 25 % определена по формуле (9.20):

$$H_{ж} = 1,2 \times 25 / 100 + 0,3 = 0,6 \text{ м.}$$

Боковой канал принят шириной 0,8 м. Дно канала располагается ниже дна желоба на величину, определенную по формуле (9.25)

$$H_{кан} = 1,73 \sqrt[3]{(0,54/9,81 \times 0,8^2 + 0,2)} = 0,94 \text{ м.}$$

Для отвода промывной воды предусмотрен трубопровод диаметром 900 мм.

Определение потерь напора при промывке фильтра:

а) потери напора в дренажной системе находят по формуле (9.22), в которой: отношение площади отверстий к площади коллектора равно

$$\Omega = 0,0025 \times 30 / (3,14 \times 0,8^2/4) = 0,15,$$

коэффициент гидравлического сопротивления

$$\zeta = 2,2 / 0,15^2 + 1 = 98.$$

$$h_d = 98 \times 1,07^2 / 2 \times 9,8 + 1,82^2 / 2 \times 9,8 = 5,87 \text{ м};$$

б) потери напора в поддерживающих слоях равны

$$h_{пс} = 0,22 \times 0,4 \times 18 = 1,6 \text{ м};$$

в) потери напора в зернистой загрузке

$$h_{фс} = (0,85 + 0,04 \times 0,54) 1,2 = 1,04 \text{ м}.$$

Принята схема промывки фильтров от промывных насосов. Подача насоса определена по формуле (9.26):

$$Q_H = 3,6 \times 30 \times 18 = 1994 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Геометрическая высота подъема воды промывным насосом равна разности отметок $Z_{ж} - Z_{нр}$, описанных в формуле (9.29). Разность отметок в данном примере определена приблизительно по сумме следующих составляющих: потери напора в фильтре - 3,0 м, потери напора в трубопроводе от фильтра к резервуару чистой воды (РЧВ) - 0,5 м, глубина воды в РЧВ - 3,5 м. Желоб расположен ниже уровня воды в фильтре на высоту около 1,5 м. В итоге ориентировочно:

$$Z_{ж} - Z_{нр} = 3,0 + 0,5 + 3,5 - 1,5 = 5,0 \text{ м}$$

Сумма потерь напора в трубопроводе $S h$, подводящем воду на промывку приняты равными 1,5 м. Напор насоса по форм. (9.29) равен:

$$H_H = 5,0 + 5,87 + 1,6 + 1,04 + 1,5 + 1,5 = 16,51 \text{ м}.$$

По каталогу для промывки фильтров принят один рабочий и один резервный насос марки Д 2000-21.

Пример расчета скорого фильтра с водовоздушной промывкой. По заданным в предыдущем примере параметрам рассчитан фильтр другой конструкции - с водовоздушной промывкой и низким горизонтальным отводом промывных вод. Параметры загрузки оставлены прежними, интенсивность водяного потока при промывке принята по [11] равной $7 \text{ л} / \text{с} \cdot \text{м}^2$, а воздуха - $20 \text{ л} / \text{с} \cdot \text{м}^2$ при суммарной продолжительности подачи соответственно 7 и 2 минуты.

Площадь фильтров по формуле (9.9) будет равна

$$F_{\phi} = 36\,500 / (24 \times 8 - 3,6 \times 2 \times 7 \times 0,12 - 2 \times 0,5 \times 8) \gg 200 \text{ м}^2.$$

Число фильтров составит $N_{\phi} = 0,5 \sqrt{200} \approx 7$ шт. Площадь одного фильтра равна $f_{\phi} = 200 : 7 = 28,6 \text{ м}^2$, принятые размеры в плане $5 \times 5,7 \text{ м}$.

Дополнительная высота фильтра составит

$$H_{доп} = 36\,000 \times 0,5 / 24 \times 28,6 \times 7 \times (7 - 1) = 0,62 \text{ м} \gg 0,6 \text{ м}.$$

Полная высота фильтра определена по аналогии с предыдущим примером и равна $H_{\phi} = 1200 + 500 + 2000 + 600 + 500 = 4800 \text{ мм}$.

Дренажная система представляет собой два дырчатых трубопровода - снизу воздушный, над ним - водяной. Коллектор промывной воды прокладывается в

центре фильтра, а для воздуха предусматривается две ветви коллектора, расположенные параллельно водяному у стенок фильтра.

Расчет водной распределительной системы. Расход промывной воды равен $q_{пр} = f \cdot \Omega = 28,6 \times 7 = 200$ л/с. Принят диаметр коллектора 500 мм, скорости входа воды в коллектор составляет $V_k = 1,02$ м / с. Принимается по 17 ответвлений от коллектора с каждой стороны с расстоянием между их осями 294 мм. Расход воды, поступающей в каждое ответвление $q_{отв} = 200 : 34 = 5,9$ л/с. Диаметры ответвлений приняты равными 70 мм при скорости входа воды $V_{б0} = 1,68$ м /с. В нижней образующей труб ответвлений предусматриваются отверстия диаметром 10 мм. Их общее число по формуле (9.13) равно

$$n_0 = 0,002 \times 4 \times 28,6 / 3,14 \times 0,01^2 = 729 \text{ шт.}$$

На каждое из 34 ответвлений приходится $802 : 34 \approx 21$ отверстие. При длине каждого ответвления $(5700 - 500) / 2 = 2600$ мм расстояние между отверстиями составляет $2600 : 24 = 124$ мм, что находится в пределах рекомендуемого - 120 - 160 мм. Для удаления воздуха из коллектора на его конце устанавливается стояк-воздушник диаметром 75 мм.

Для отвода промывных вод предусматривается водослив, как это показано на рис.9.8. Высота между нижней и верхней кромками водослива, при расходе промывной воды на 1 м ширины фильтра $7 \times 5,0 = 35$ л/(м · с), принимается по табл.9.2 равной 420 мм. Расстояние между верхними кромками водослива и отбойной стенки принимается 25 мм, а слой воды до низа водослива - 30 мм. Другие размеры водослива приняты: $a = 20$ мм, $b = 40$ мм.

Глубина сборного канала для отвода промывных вод, при принятой ширине 0,8 м, располагается ниже кромки водослива на величину

$$H_{кан} = 1,73 \sqrt[3]{(0,200 / 9,81 \times 0,8^2)} + 0,2 = 0,75 \text{ м.}$$

Расчет распределительной системы для воздуха. Распределительная система рассчитывается на расход $q = 28,6 \times 20 = 572$ л/с. В ориентировочном расчете коллектор принят из двух ветвей диаметром 200 мм каждый, при скорости движения воздуха в них 9,1 м/с. Ответвления для воздуха располагаются между ответвлениями для воды, поэтому в нашем примере их по 18 штук от каждой ветви коллектора с расстоянием между осями 294 мм. Ответвления направлены от каждой ветви до центра фильтра и имеют длину 260 мм. На каждое ответвление приходится расход воздуха $572 : 2 : 18 = 15,9$ л/с. Принят диаметр ответвлений 35 мм, при скорости движения воздуха в них 16,6 м/с. Отверстия принимаются круглыми диаметром 3 мм, располагаются в два ряда по направлению вниз под углом 45^0 в шахматном порядке. Общее число отверстий определяется по скорости выхода воздуха из них 50 м/с

$$n_0 = 4 \times 0,572 / 50 \times 3,14 \times 0,003^2 = 1620 \text{ шт.}$$

На каждом ответвлении располагается 45 отверстий, расстояние между которыми в каждом ряду равно $L_{\text{отв}} = 2600 \times 2 / 45 = 115$ мм, что в пределах рекомендуемого 100 - 180 мм.

Выполнен уточненный расчет с учетом гидравлических характеристик системы. Принимается неравномерность распределения воды в отверстиях и ответвлениях одинаковой $\Delta + \Delta_{\text{кол}} = 0,01$, тогда по рис. 9.10 величина $a_0 = a_{\text{кол}} = 0,14$; $\mu_0 = 0,54$. Коэффициент гидравлического сопротивления равен

$$\zeta_0 = 0,0044 \times 2,6 / 0,035 = 0,33 < 1,0.$$

Тогда по формуле (9.15), при площади сечения ответвления $0,00096 \text{ м}^2$ суммарная площадь отверстий будет равна:

$$f_0 = 0,14 \times 0,00096 / 0,54 \times (1 - 0,33) = 0,000305 \text{ м}^2,$$

отсюда скорость истечения воздуха из отверстий будет равна $0,0159 / 0,000305 = 52$ м/с, что лишь немного отличается от рекомендуемой. При принятом диаметре отверстий 3 мм их количество на одном ответвлении будет $0,000305 \times 4 / 3,14 \times 0,003^2 = 44$ шт. Шаг отверстий в каждом из двух рядов 118 мм, что находится в рекомендуемых пределах.

Коэффициент сопротивления коллектора равен

$$\zeta_{\text{кол}} = 0,0044 \times 5 / 0,2 = 0,11.$$

Общий коэффициент сопротивления по формуле (9.18) будет равным

$$\psi_{\text{общ}} = \frac{1 - 0,33}{\sin^2\left(\frac{0,14 \cdot 180}{\pi}\right)} + 0,33 = 35,04$$

Определяется коэффициент расхода для коллектора по (9.17)

$$\mu_{\text{кол}} = \sqrt{\frac{1}{5,5 + 35,04}} = 0,16$$

Из формулы (9.15) находится площадь сечения коллектора

$$F_{\text{кол}} = \frac{\mu_{\text{кол}} \sum f_0 \sqrt{(1 - \zeta)}}{a_{\text{кол}}} = \frac{0,16 \cdot 0,0346 \sqrt{(1 - 0,11)}}{0,14} = 0,037 \text{ м}^2$$

Этой площади соответствует диаметр трубы 0,22 м. Принимается диаметр коллектора равный 200 мм, со скоростью движения воздуха в нем 9,1 м/с, т.е. в пределах рекомендуемой.

В итоге воздушный коллектор представляет собой трубопровод диаметром 200 мм, с ответвлениями диаметром 35 мм с шагом 294 мм, с отверстиями в ответвлениях диаметром 3 мм с шагом между ними в каждом из двух рядов 118 мм.

Магистральный воздуховод принимаем диаметром 200 мм, при скорости движения воздуха в нем 18,2 м/с. Магистраль прокладывается на высоте на 3 м выше водослива и опускается стояком к отметке прокладки коллектора.

Подбор промывных устройств для водовоздушной промывки. В примере принята схема промывки фильтров от промывной башни. Объем башни рассчитывается на две промывки по формуле (9.31)

$$W_{\text{б}} = 2 \times 28,6 \times 7 \times 60 \times 6 / 1000 = 144 \text{ м}^3.$$

Принимаем типовую башню емкостью 150 м^3 с высотой бака 6,5 м.

Определяем потери напора в фильтре при водяной промывке:

а) Определяются потери напора в дренажной системе. Отношение площади отверстий к площади коллектора $\Omega = 0,002 \times 28,6 / (3,14 \times 0,5^2 / 4) = 0,29$. Коэффициент гидравлического сопротивления равен

$$\zeta = 2,2 / 0,29^2 + 1 = 27. \text{ Потери напора находят по формуле (9.26)}$$

$$h_{\text{д}} = 27 \times 1,02^2 / 2 \times 9,8 + 1,68^2 / 2 \times 9,8 = 1,54 \text{ м};$$

б) потери напора в поддерживающих слоях из формулы (9.27)

$$h_{\text{пс}} = 0,22 \times 0,5 \times 7 = 0,77 \text{ м};$$

в) потери напора в зернистой загрузке из формулы (9.28)

$$h_{\text{фс}} = (0,85 + 0,04 \times 0,54) \times 1,2 = 1,04 \text{ м}.$$

Отметка желоба (водослива) $Z_{\text{ж}}$, считая от днища фильтра, равна сумме высот поддерживающего слоя, загрузки и воды, то есть

$$Z_{\text{ж}} = 0,5 + 1,2 + 0,45 = 2,150 \text{ м}.$$

Отметка дна бака башни рассчитывается по формуле (9.29), с учетом потерь напора в трубопроводе ориентировочно равными $S h = 1,5 \text{ м}$.

$$Z_{\text{дб}} = 2,150 + 1,540 + 0,770 + 1,040 + 1,500 + 1,500 = 8,500.$$

Отметка верхнего уровня воды в башне:

$$Z_{\text{вб}} = 8,500 + 6,500 = 15,000 \text{ м}.$$

Подача насоса для пополнения башни рассчитывается по формуле (9.33)

$$Q_{\text{н}} = 144 \times 7 / (24 - 2 \times 0,1) = 42,4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Башня заполняется насосом из РЧВ с примерной отметкой низа уровня воды $Z_{\text{нр}} = -4,000$. Напор насоса должен быть не менее, определенного по формуле (9.34)

$$H_{\text{н}} = Z_{\text{вб}} - Z_{\text{нр}} + 1,5 = 15,000 + 4,000 + 1,0 + 1,5 = 21,5 \text{ м}.$$

Здесь 1,0 м - примерные потери напора в подающем трубопроводе.

Принимается к установке насос К 45/30а, развивающий при расчетной подаче напор 21 м.

Производительность воздуходувки определяется по формуле (9.35)

$$Q_B = 0,06 \times 20 \times 28,6 = 34,3 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Расчетный напор воздуходувки принимается равным сумме высоты столба воды в фильтре и потерь напора в коммуникации, равным 1,0 м, с запасом 0,5 м

$$H_B = 2,15 + 1,0 + 0,5 = 3,65 \text{ м.}$$

По каталогу выбирается воздуходувка ТВ - 42 - 1,4, создающая при расчетной подаче напор 4 м. Предусматривается одна резервная воздуходувка.

Пример расчета напорных фильтров. Расчетная производительность очистных сооружений $Q_{oc} = 2\,500 \text{ м}^3/\text{сут.}$ В примере приняты скорые напорные вертикальные фильтры с песчаной загрузкой размером зерен 1 - 2 мм, высотой слоя 1000 мм и скоростью фильтрования 8 м / ч. В расчете принята водовоздушная промывка фильтров 2 раза в сутки. Интенсивность водяной промывки $18 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$, взрыхления воздухом - $18 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$.

По формуле (9.9) определяется суммарная площадь фильтров

$$F_{\phi} = 2\,500 / (24 \times 8 - 3,6 \times 2 \times 18 \times 0,1 - 2 \times 0,5 \times 8) \gg 14,6 \text{ м}^2.$$

Из таблицы 9.3 выбираются фильтры типа ФОВ - 2,6 - 6 с площадью фильтрования $f = 5,3 \text{ м}^2$. Количество фильтров должно быть $N_{\phi} = \Sigma F_{\phi} / f = 14,6 / 5,3 = 2,75$. Принимается 3 рабочих фильтра и один резервный. Поскольку приняты фильтры выпускаемые промышленностью расчет дренажа не производится.

При промывке фильтра водой расход промывных вод составит по формуле (9.12) $q_{пр} = 18 \times 5,3 = 95,4 \text{ л/с}$ или $343,4 \text{ м}^3/\text{ч}$. Напор насоса принят по аналогии с предыдущим расчетом равным 21 м. Выбирается один рабочий и один резервный насосы для промывки фильтров типа К 290 / 30.

Расход воздуха составит $q_B = 18 \times 5,3 = 95,4 \text{ л/с}$ или $5,7 \text{ м}^3/\text{мин.}$ Необходимый перепад напора, по аналогии с предыдущим примером, составит 4 м. Выбирается воздуходувка ВК-6.

9.3. Сооружения обработки промывных вод и осадка станций обезжелезивания воды

В процессе эксплуатации станции обезжелезивания от 5 до 10 % очищенной воды расходуется на промывку фильтров. Спуск сточных вод от станций обезжелезивания в водные объекты недопустим, так как железо имеет токсикологический лимитирующий признак вредности. В водоемах гидроокись железа иногда является причиной гибели рыб, так как может осаждаться на имеющей щелочную реакцию слизистой оболочке их жабр.

Сброс промывных вод в канализацию не всегда возможен, так как значительная часть станций обезжелезивания находится в удалении от поселков. Там же, где это возможно, сброс промывных вод приводит к значительному увеличению диаметров коллекторов для приема залпового расхода и к

неоправданному повышению нагрузки на сооружения биологической очистки сточных вод минеральными веществами.

Повторное использование очищенных промывных вод уменьшает расход воды на собственные нужды, может удешевить эксплуатацию установки и снизить плату за использование природных ресурсов.

Поэтому, в настоящее время обработка и повторное использование промывных вод водопроводных станций, в том числе и станций обезжелезивания воды, являются обязательными [7].

На рис. 9.11 приведены план и разрез, сооружений по обработке промывных вод станции обезжелезивания производительностью $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$, разработанных в типовом проекте 901-3-106 ВГ.

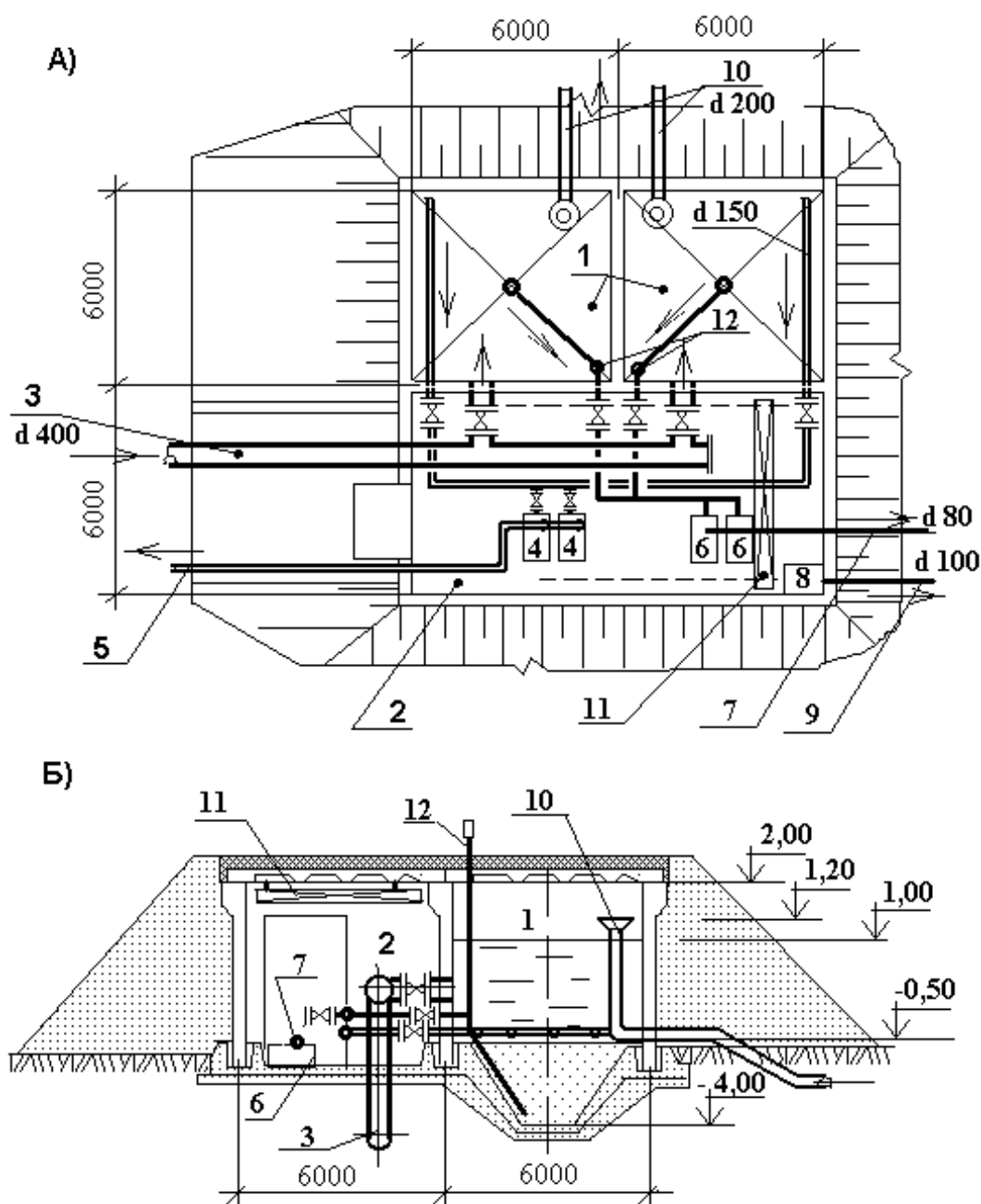


Рис.
9.11.
Сооруже
ния

обработки промывных вод: А) - план; Б) разрез; 1 - резервуары-отстойники; 2 - насосная станция; 3 - промывная вода от фильтров; 4 - насосы осветленной

воды; 5 - трубопровод возврата воды на фильтры; 6 - шламовые насосы; 7 - на сооружения обработки шлама; 8 - приямок; 9 - в канализацию; 10 - перелив; 11 - кран подвесной; 12 - стояк прочистки шламопровода

Сооружения находятся на площадке водоочистного комплекса и состоят из резервуаров-отстойников 1 и примыкающей к ним насосной станции 2. Конструкции заглублены и обвалованы землей. Для соблюдения режимов эксплуатации отстойников, фильтры на станции промываются поочередно через равные промежутки времени, промывная вода самотеком сбрасывается в отстойники по трубопроводу 3. Здесь вода отстаивается не менее 4 часов. Если в период отстаивания приходит очередь промывки следующего фильтра, то промывные воды от него сбрасываются в другой резервуар. Дно резервуара выполнено со стенками, наклоненными под углом 45° к горизонту для сползания выпавшего осадка. Отстоенная вода отбирается дырчатым трубопроводом диаметром 150 мм, проложенным на уровне перехода вертикальных стен отстойника в наклонные, в примере это соответствует отметке: -0,5 м. Трубопровод имеет 39 отверстий диаметром 20 мм, расположенных с шагом 150 мм. В голову очистных сооружений вода перекачивается насосами 4 марки К-90/20 по трубопроводу 5.

Шлам откачивается со дна отстойника насосами 6 марки НП-1М и по трубопроводу 7 перекачивается на сооружения его обезвоживания.

Отстойники оборудованы переливными трубопроводами, а насосная станция приямком 8 и дренажным трубопроводом 9. В насосной станции установлен кран подвесной ручной однобалочный грузоподъемностью 500 кг. Сооружения такого типа имеются на ряде станций обезжелезивания Дальнего Востока, в частности в п. Магдагачи Амурской области и на водопроводных сооружениях г. Корсакова Сахалинской области. При обезжелезивании с применением реагентов, происходит интенсивное осветление промывной воды и уплотнение осадка и возврат очищенной воды на фильтры не ухудшает качество фильтрата. При безреагентном отстаивании, осаждение осадка в промывной воде происходит с незначительной скоростью, четкой границы между зоной осаждения и осадком не наблюдается. Через 6 часов отстаивания в воде остается свыше 40% железа и взвешенных веществ. Возврат такой воды резко ухудшает качество воды на выходе из водоочистного комплекса. Для улучшения осветления промывных вод рекомендуется применение коагулянта и подщелачивания. Поскольку, сброс промывных вод в резервуары-отстойники происходит залпами, то залпами следует вводить и необходимые массы реагентов.

Расчет сооружений по обработке промывных вод сводится к определению числа и размеров отстойников, подбору насосов, определению диаметров трубопроводов и определению отметок всех элементов.

Число резервуаров-отстойников N должно быть не менее двух и определяется по формуле

$$n = \frac{N t n_{\text{пр}}}{T_{\text{ст}}}, \quad (9.36)$$

где N - число фильтров на станции; t - период использования промывных вод в отстойнике, ч; $n_{\text{пр}}$ - число промывок каждого фильтра в течение суток; $T_{\text{ст}}$ - продолжительность работы станции в течение суток, обычно $T_{\text{ст}} = 24$ часа.

Период использования промывных вод в отстойнике складывается из отрезков времени на операции, отраженные в нижеследующей табл. 9.4.

Объем каждого отстойника складывается из объема зоны осветления $W_{\text{осв}}$, объема защитной зоны $W_{\text{защ}}$ и объема зоны накопления и уплотнения осадка $W_{\text{ос}}$. Первые два объема располагаются в вертикальной части отстойника, последний - в конусной.

Таблица 9.4

Режим обработки промывных вод в фильтрах

Операция обработки воды в отстойнике	Обозначение	Рекомендуемый отрезок времени, ч
Прием промывной воды	t_1	0,08 - 0,12
Отстаивание	t_2	4
Откачка осветленной воды	t_3	1 - 2
Откачка осадка	t_4	1
Резерв времени на переключения	t_5	0,15 - 0,3
Период использования промывных вод	$t = \sum t_i$	» 6,3 - 7,4

Объем зоны осветления, м^3 , должен быть не менее объема воды, необходимого для промывки одного фильтра

$$W_{\text{осв}} = 60 \omega t f / 1000, \quad (9.37)$$

где ω - интенсивность промывки фильтра, $\text{л}/\text{с}\cdot\text{м}^2$; t - продолжительность промывки, мин; f - площадь одного фильтра, м^2 .

По определенному объему $W_{\text{осв}}$ определяются размеры в плане и высота зоны осветления. Высота защитной зоны $W_{\text{защ}}$ принимается равной 0,3 - 0,4 м (в целях избежания взмучивания и захвата осадка при откачке осветленной воды). Высота зоны накопления осадка получается путем геометрического построения,

с учетом наклона стен этой зоны под углом 45^0 к горизонту. После определения размером вертикальной части отстойника, определяется объем конусной части - зоны накопления осадка $W_{ос}$.

Количество железа, в условном сухом веществе в расчете на $Fe(OH)_3$, выпадающего в осадок за сутки, кг/сут, равно

$$q = \frac{107 Q Fe}{56 \cdot 1000}, \quad (9.38)$$

где Q - полная производительность станции, $м^3/сут$; Fe - концентрация железа в воде, мг/л; 56 - атомная масса железа; 107 - молекулярная масса гидроокиси.

Объем влажного осадка, выпадающего за сутки, $м^3/сут$, определяется из выражения

$$W_{ос.сут} = \frac{100 q}{1000 (100 - p)}, \quad (9.39)$$

где p - влажность осадка, %, принимаемая равной 99 % для реагентного обезжелезивания воды и 96,5 для безреагентного.

Продолжительность нахождения осадка $T_{ос}$, сут, в зоне уплотнения отстойника составляет

$$T_{ос} = \frac{W_{ос}}{W_{сут}}, \quad (9.40)$$

должна быть не менее 0, 3 суток и обычно составляет до 14.

Отметка расчетного уровня воды в резервуаре-отстойнике должна быть ниже отметки кармана фильтра станции очистки воды на величину потерь напора в трубопроводе сброса промывной воды на сооружения при расчетном расходе на промывку одного фильтра.

Производительность насоса возврата осветленной воды на фильтры $Q_{осв}$, $м^3/ч$, и насоса перекачки шлама на обезвоживание $Q_{ос}$, $м^3/ч$, определяются из выражений

$$q_{осв} = \frac{W_{осв}}{t_3}, \quad q_{ос} = \frac{W_{ос}}{t_4}, \quad (9.40)$$

Напоры насосов определяются в результате гидравлических расчетов, диаметры трубопроводов определяются по рекомендуемым скоростям движения воды 1,5 - 2,0 м/с.

Очистка промывных фильтров отстаиванием в резервуарах отстойниках имеет существенные недостатки. Отстойники не обеспечивают глубокого осветления воды и неудаленные взвешенные вещества, при возврате промывных вод в голову сооружений, в условиях безреагентного обезжелезивания частично

проскакивают в фильтрат, особенно при одноступенном фильтровании. Для предотвращения ухудшения качества очистки воды при возврате промывных вод, содержание железа в них после очистки не должно превышать 0,6 мг/л. Без обработки промывных вод реагентами такого эффекта удаления взвеси железа из них не достигнуть.

Разработаны и более надежные в санитарном отношении схемы обработки промывных вод. Из них наиболее перспективными представляются применение в отстойниках тонкослойных модулей и включение в схему дополнительного сооружения - фильтра с плавающей загрузкой или иного типа.

Пример расчета сооружений по обработке промывных вод. Исходные данные для расчета определены в примере в разделе 9.2. Число фильтров на станции $N = 7$, станция работает круглосуточно $T_{ст} = 24$ ч, число промывок каждого фильтра в течение суток $n_{пр} = 2$. Содержание железа в воде скважин $Fe^{2+} = 5$ мг/л. Период обработки промывных вод принимается по таблице 9.4 равным $t = 6,3$ ч.

По формуле (9.36) определяется число резервуаров-отстойников:

$n = 7 \cdot 6,3 \cdot 2 / 24 = 3,6$. Принимается 4 резервуара.

Объем воды необходимый для одной промывки одного фильтра составляет 72 м^3 . Следовательно объем зоны осветления резервуара-отстойника должен быть не менее $W_{осв} = 72 \text{ м}^3$. Принимаются размеры зоны осветления в равными в плане $4,5 \times 6,0$ м и высотой $2,7$ м. Высота защитной зоны принимается равной $0,3$ м. Строительная высота, то есть расстояние от уровня воды до верха резервуара - $0,5$ м. Зона накопления осадка выполняется с наклонными по углом 45° стенками, с двумя конусами в резервуаре, для уменьшения его высоты. Конструкция резервуара представлена на рис. 9.12.

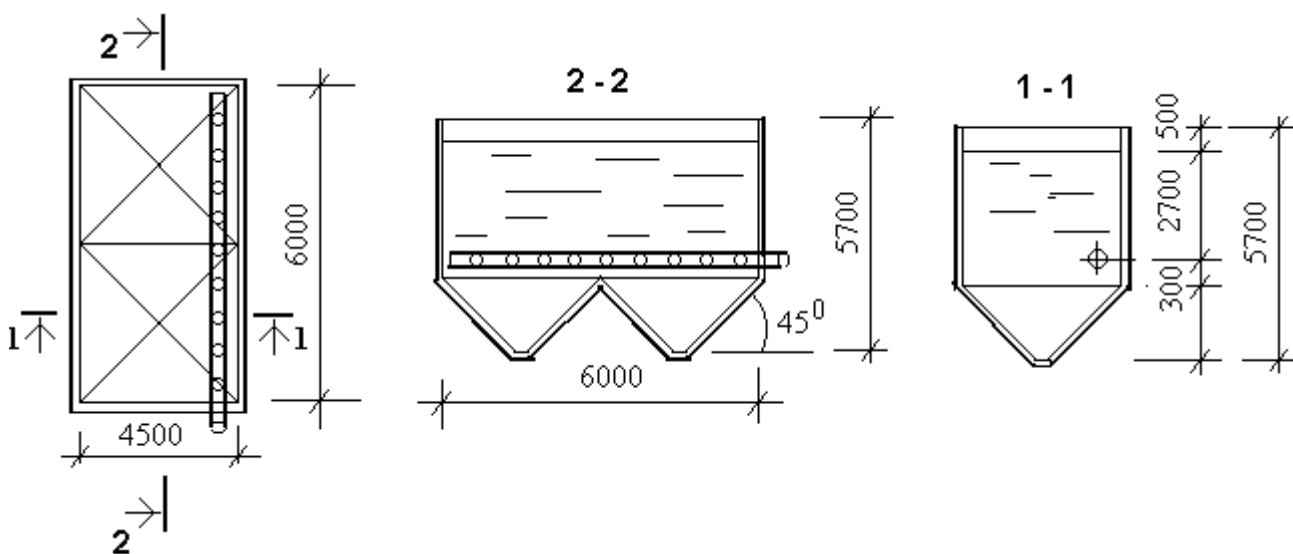


Рис. 9.12. Резервуар - отстойник промывных вод фильтров

Объем зоны накопления осадка $W_{ос} = 29,7 \text{ м}^3$, найден по объему конусной части отстойника.

Количество железа, в расчете на $\text{Fe}(\text{OH})_3$, выпадающего в осадок за сутки определено по (9.38). В итоге

$$q = 107 \cdot 36500 \cdot 5 / (56 \cdot 1000) = 348 \text{ кг/сут.}$$

Объем осадка влажностью 96,5 % равен

$$W_{\text{ос.сут}} = 100 \cdot 348 / [1000 (100 - 96,5)] = 9,94 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Продолжительность нахождения осадка в отстойнике $T_{\text{ос}} = 29,7 / 9,94 = 3$ суток, то есть объем зоны осадка в отстойнике достаточен.

Определение диаметров трубопроводов сведено в табл. 9.5.

Подбор насосов и проектирование насосной станции в данном примере не выполнены. Примерный план размещения сооружений (без коммуникаций) приведен на рис. 9.13.

Осадок, уплотненный в резервуарах отстойниках, представляет собой гидроокись железа - малоопасное вещество 4 класса опасности и его можно складировать на полигонах промышленных или бытовых отходов или в накопителях. Для уменьшения объема, осадок подвергается обезвоживанию.

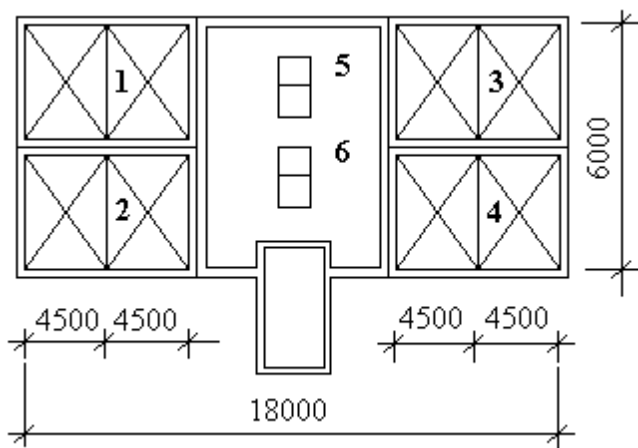
Простейшими сооружениями для обезвоживания осадка являются площадки обезвоживания осадка. При длительном хранении осадка на площадках, гидроокись железа подвергается старению и переходит из аморфного состояния в кристаллическое. Это приводит к уменьшению фильтрационного сопротивления осадка и увеличению его водоотдающей способности. Основную массу воды из осадка удаётся отводить через фильтрующее основание из крупнозернистого песка. При подсушивании влажность осадка снижается до 50 - 60 %. Нагрузка осадка на площадки с фильтрующим основанием зависит от климатических условий местности и составляет от 6 до $10 \text{ м}^3/\text{м}^2$. Площадки такого типа применены для обезвоживания осадка практически на всех станциях очистки воды Дальнего Востока.

Таблица 9.5.

Расчет трубопроводов сооружений обработки промывных вод

Назначение трубопровода	Формула определения расхода	Расход q , л/с	Диаметр d , мм	Скорость V , м/с	Гр. лич. ук.
Сброс промывных вод в отстойник	Промывной расход фильтра $Q_{\text{пр}}$	200	400	1,5	0,00
Откачка осветленной воды	$\frac{W_{\text{осв}}}{3,6 t_3}$	$72/3.6 \cdot 1 = 20$	125	1,4	0,03
Откачка осадка	$W_{\text{ос}} / (3,6 t_4)$	$29,7/3.6 \cdot 1 = 8,3$	80	1,2	0,03

Переливной трубопровод	$Q_{пр}$	200	350	1,9	0,01
------------------------	----------	-----	-----	-----	------



Сточная из дренажного приемка	-	-	100	-	
-------------------------------	---	---	-----	---	--

Рис. 9.13. План размещения сооружений обработки промывных вод: 1, 2, 3, 4 - резервуары-отстойники; 5, 6 - насосы перекачки осадка и осветленной воды

Примерный план площадок обезвоживания осадка станции обезжелезивания приведен на рис. 9.14. Определение размеров площадок обезвоживания осадка подробно рассматривается в нормах [7].

В тех случаях, когда станции обезжелезивания размещаются в черте городской застройки, размещение площадок обезвоживания оказывается затруднительным и становится целесообразным применение более интенсивных методов обезвоживания осадка, в частности вакуум-фильтров, фильтр-прессов и т.п. Перед направлением осадка на механическое обезвоживание рекомендуется применение гравитационных сгустителей, но при обосновании можно от них отказаться.

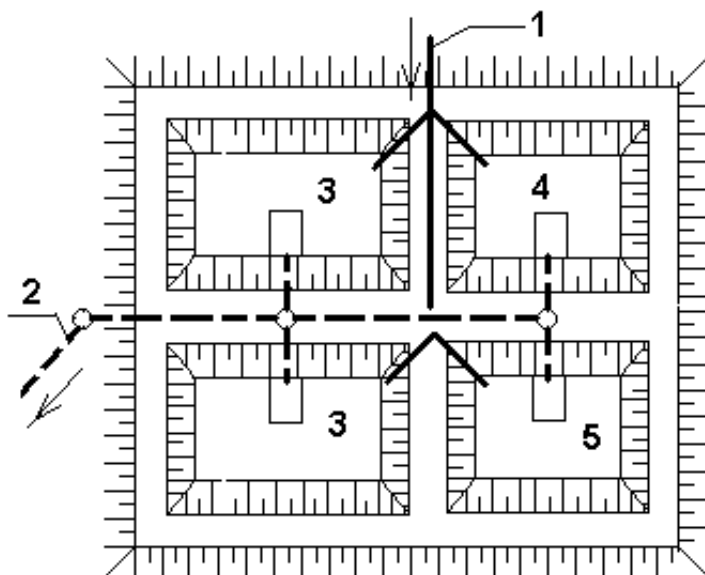


Рис. 9.14. Площадки обезвоживания осадка: 1 - слив осадка на карты; 2 - отвод фильтрата; 3 - карты для зимнего напуска осадка; 4, 5 - карты для летне-осеннего напуска весеннего напусков

Фильтр-прессы для обезвоживания осадка применены на станции

обезжелезивания в г. Комсомольске-на-Амуре, схема которой приведена на рис. 4.2. На фильтр-прессе здесь направляются промывные воды с неотделенным осадком. При производительности станции $12500 \text{ м}^3/\text{сут}$ с отделением и обезвоживанием осадка справляются 4 фильтр-пресса, из которых один резервный. Каждый фильтр имеет площадь фильтрования 60 м^2 . В качестве фильтрующей ткани применен бельтинг, для прочности под бельтингом уложен капрон. Напор насосов подачи промывных вод на фильтр-прессе составляет 35 м. Фильтрованная вода имеет высокое качество и направляется в резервуары чистой воды. На заводе, которому принадлежит станции, были успешные попытки утилизации обезвоженного осадка - изготовления из него железного сурика, краски общего применения.

10. ПЛАНИРОВКА И КОМПОНОВКА СТАНЦИЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Планировка и компоновка станций обезжелезивания подчиняется общим принципам проектирования промышленных зданий.

Все помещения в здании блокируются в зависимости от технологических процессов в них протекающих. На станции обезжелезивания могут быть выделены следующие блоки помещений или зданий: фильтровальный зал; насосная и воздухоподводящая, отделение хранения и приготовления реагентов, блок обработки промывных вод, блок обработки осадка, хлораторная, трансформаторная подстанция, блок вспомогательных и бытовых помещений и другие. Все блоки изолированы друг от друга стенами для локализации выделяющихся вредностей: влаги, пыли, шума и т.п.

В зоне Дальнего Востока, где на большей части территории климат достаточно суров, практически все сооружения, подсобные и вспомогательные помещения желательно размещать в одном здании, так как это значительно снижает строительную стоимость и улучшает условия труда. Здание станции обычно выполняется каркасным с навесными панельными или самонесущими стенами.

При планировке станции необходимо учитывать следующие требования:

- здание должно быть компактным и иметь наименьший периметр;
- при расположении сооружений необходимо обеспечивать кратчайший путь подачи и отвода воды;
- для обеспечения самотечного движения воды максимально использовать рельеф местности;
- ко всем сооружениям должны быть обеспечены проходы шириной не менее 1 м.

При применении напорных фильтров здание станции обезжелезивания выполняется одноэтажным. Пример плана размещения оборудования такой станции приведен на рис. 10.1. Здание состоит из двух блоков: фильтровального зала, где установлены фильтры, компрессор и бактерицидная установка, и блока вспомогательных помещений. Воздухосборники установлены вне здания. При необходимости к зданию можно пристроить насосную станцию и другие цеха. При достаточной емкости водонапорной башни на сети, станции обезжелезивания с напорными фильтрами работают без насосной станции

второго подъема. В этом случае вода под напором насосов в скважинах прокачивается через фильтры и сразу подается в водопроводную сеть и башню.

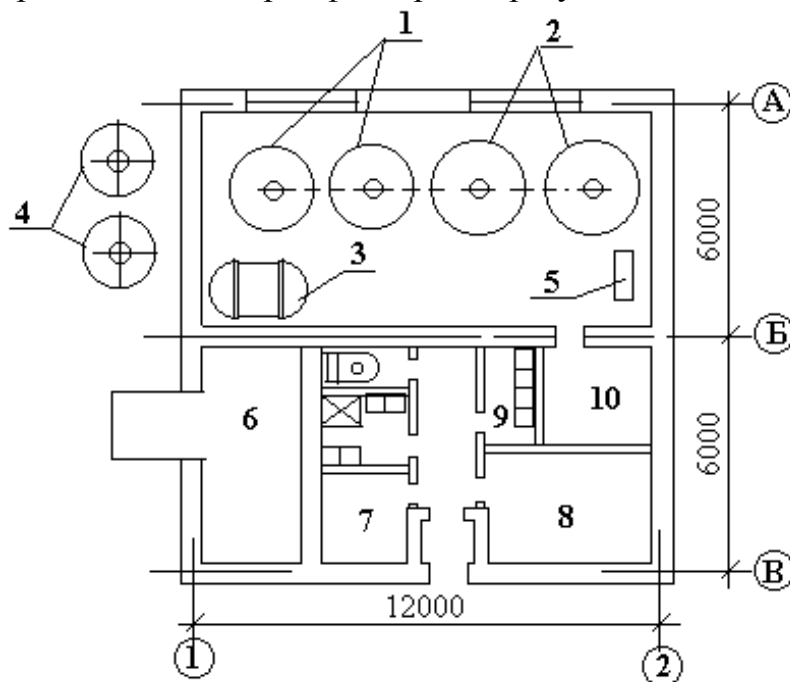
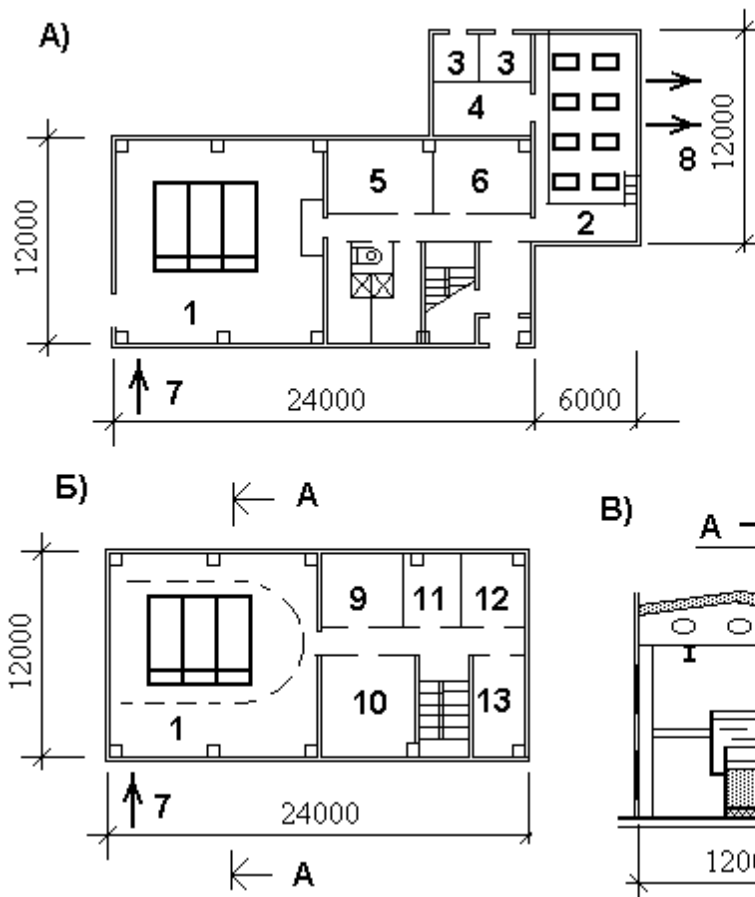


Рис. 10.1. План типовой станции обезжелезивания воды производительностью 800 м³/сут: 1, 2 - фильтры первой и второй ступени; 3 - компрессор; 4 - воздухохранилища; 5 - бактерицидная установка; 6 - топочное отделение; 7 - помещение дежурного персонала; 8 - лаборатория; 9 - гардероб; 10 - мастерская

При обезжелезивании воды в открытых скорых фильтрах здание выполняется двухэтажным. На рис. 10.2 приведено планировочное решение типовой станции обезжелезивания воды производительностью 5000 м³/сут, сблокированной с насосной станцией второго подъема. В насосной станции установлены насосы второго подъема, насосы для подкачки воды в башню и воздуходувки для водовоздушной



промывки фильтров.
Рис. 10.2. Станция обезжелезивания с безнапорными фильтрами: а) - план первого этажа; б) - план второго этажа; в) - разрез; 1 - зал фильтров; 2 - насосная и воздуходувная станция; 3 - трансформаторная подстанция; 4 - щитовая; 5, 12 - приточная и вытяжная

венткамеры; 6 - мастерская; 7 - подача воды от скважин; 8 - в водопроводную сеть; 9 - лаборатория; 10 - операторская; 11 - помещение для посуды и реактивов; 13 - кабинет начальника станции

На описываемой станции применена технологии очистки воды упрощенной аэрацией в кармане фильтров с последующим фильтрованием.

Предусмотрено грузоподъемное оборудование: в зале фильтров - таль ручная грузоподъемностью 1 т, в насосной станции - кран ручной однобалочный грузоподъемностью 1 - 5 т. На первом этаже зала фильтров находится галерея трубопроводов, на втором пульта управления фильтрами. Приточно-вентиляционная вентиляция обеспечивает необходимую концентрацию кислорода в воздухе в котором происходит аэрация воды.

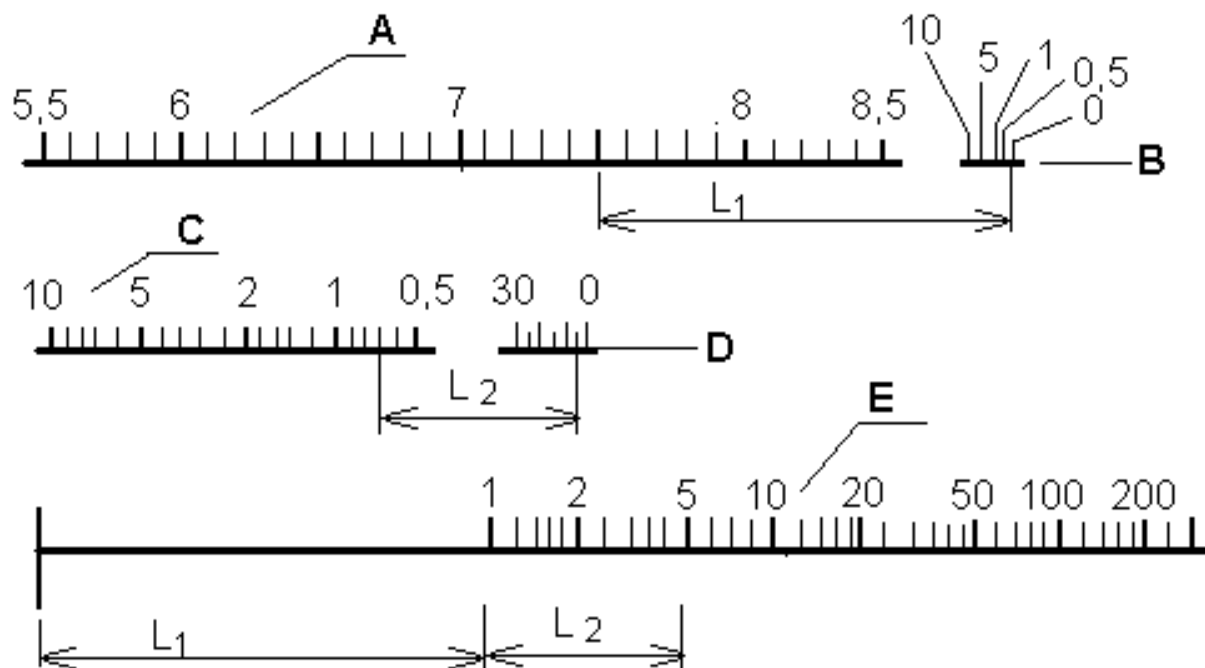
Обеззараживание воды на станциях обезжелезивания воды обычно предусмотрено жидким хлором, с дозой около 1 мг/л. Там, где для технологии очистки применяется озон, санитарную безопасность воды обеспечивают поддержанием остаточной дозы озона до 0,3 мг/л. На Дальнем Востоке работает много установок обезжелезивания воды, где обеззараживание воды производится на установках бактерицидного излучения.

Раньше такое решение было предусмотрено в типовых проектах станций невысокой производительности. Это решение имеет существенный недостаток. Со временем на поверхности чехла бактерицидных ламп образуются отложения не удаленного из воды железа, в результате чего эффективность их резко падает. Очистка ламп от железа затруднительна и их часто приходится менять. Поэтому в настоящее время бактерицидные лампы для обеззараживания воды на станциях обезжелезивания не монтируются.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Номограмма определения свободной двуокиси углерода
в природной воде

Назначение шкал: **A** - pH; **B** - солесодержание, г/л; **C** - щелочность, мг-экв/л; **D** -



температура, °C; **E** - концентрация свободной двуокиси углерода

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. -М.: Издательство стандартов, 1982. - 7 с.
2. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно -питьевого водоснабжения. Правила выбора и оценки качества. -М.: Издательство стандартов, 1985. -7 с.
3. СанПиН 2.1.4.559-96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. - 111 с.25.
4. МУ 2.1.4.682-97. Методические рекомендации по внедрению и применению СанПиН 2.1.4.559-96. - М: Минздрав России, 1997 - 82 с.
5. Правдзик Б.К. Курс водоснабжения. - С.- Петербург, 1903. - 284 с.
6. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. -М.: Стройиздат, 1987. - 240 с.
7. СНиП 2.04.02-84* . Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.- М.: ГП ЦПП, 1996 - 128 с.
8. Чайковский Г.П. Умягчение воды на железнодорожных предприятиях: Методическое пособие. - Хабаровск: ДВГАПС, 1996. - 31 с.
9. Мамонтов К.А. Обезжелезивание воды в напорных установках. -М.: Стройиздат, 1964. -94 с.
10. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. -М.: Стройиздат, 1975. -176 с.

11. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84) - М: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 128 с.
12. Технические указания по применению высокопроизводительных фильтров с загрузкой из гранитного щебня для обезжелезивания воды. - Киев: НИКТИ ГХ, 1976 - 24 с.
13. Технические записки по проблемам воды /Справочное пособие фирмы Дегремон - М.: Стройиздат, 1983.- 1064 с.
14. Шевелев Ф.А., Орлов Г.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран - М.: Стройиздат, 1987.-351 с.
15. Новиков В.К., Михайлова Э.М. Методы очистки природных вод от соединений марганца, железа и других загрязняющих веществ: Обзорная информация. - М.: Институт экономики ЖКХ АКХ им. К.Д. Памфилова, 1990. - 52 с.
16. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. -Киев: Наукова думка, 1991. - 568 с.
17. Чайковский Г.П., Матаруева И.А., Кравцов Ю.Ф. Железобактерии и их влияние на процесс обезжелезивания подземных вод.// Гидравлика и водоснабжение.: Межвузовский сборник научных трудов.- Хабаровск: РИО ХПИ, 1974. с.111 - 120.
18. Алексеев В.С., Коммунар Г.М., Янбуллатова Ф.К. Расчеты установок обезжелезивания подземных вод в водонапорных пластах. //Водоснабжение и санитарная техника. - 1984. - N4.
19. Румянцева Л.П. Брызгальные установки при обезжелезивании воды. - М.: Стройиздат, 1976. - 180 с.
20. Алексеев В.С., Коммунар Г.М., Тесля В.Г. и др. Опыт внутрислоевой очистки подземных вод от железа. Ж. Водоснабжение и санитарная техника, № 5, 1989, с. 14 - 15.
21. Коммунар Г.М., Тесля В.Г., Середкина Е.В. Внутрислоевая очистка подземных вод от железа. Матер. семинара Сооруж. и эксплуатация водозаборов подземных вод. М., 1987.
22. Крайнов С.Р., Соломин Г.А., Закутин В.П. Железо в подземных водах хозяйственно - питьевого назначения. Обзор ВИЭМС. Сер. Гидрогеология и инженерная геология. М., ВИЭМС, 1987.
23. Кулаков В.В., Труфанов А.И. Закономерности распространения железа и марганца в подземных водах Приамурья. Сборн. научн. статей Гидрогеохимия региона Байкало - Амурской магистрали. Ленинград, ВСЕГЕИ, 1982, с. 22 - 28.
24. Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. М., Стройиздат, 1990.
25. Труфанов А.И. Формирование железистых подземных вод. М., Наука, 1982, 132 с.
26. Hallberg R.O., Martinell R. Vyredox - in-situ purification of ground water. J. Ground water. Vol. 4 , 2, 1976.
27. Martinell R. Controlled water treatment in the soil - in-situ removal of iron and manganese according to the Vyredox method. Paris, IWSA, 1980.