

**Сооружения водоподготовки
ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
Правила проектирования**

**Збудаванні водападрыхтоўкі
АБЕЗЖАЛЕЗВАННЕ ПАДЗЕМНЫХ ВОД
Правілы праектавання**

Издание официальное

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь
Минск 2011

УДК [69+628.161.2:546.72:628.112](083.74)

МКС 91.140.60

КП 06

Ключевые слова: водоснабжение питьевое, подземные воды, обезжелезивание, обезмарганцевание, технологические схемы, напорный фильтр, безнапорный фильтр, аэрация, напорные и безнапорные аэраторы, дозы реагентов, реагентное хозяйство, дозаторы, контактные камеры, отстойники, обработка промывных вод и осадка

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 РАЗРАБОТАН научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»), техническим комитетом по стандартизации в области архитектуры и строительства «Водохозяйственное строительство, водоснабжение и водоотведение» (ТКС 05)

ВНЕСЕН главным управлением научно-технической политики и лицензирования Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 7 июня 2010 г. № 204

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящий технический кодекс установившейся практики входит в блок 4.01 «Водоснабжение и водоотведение»

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Минстройархитектуры, 2011

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения.....	1
4 Общие требования.....	2
5 Методы удаления железа из воды	5
5.1 Основные положения	5
5.2 Аэрационные методы обезжелезивания подземных вод	6
6 Обезжелезивание подземных вод фильтрованием с предварительной аэрацией	11
6.1 Аэраторы, их назначение и типы	11
6.2 Скорые фильтры.....	20
7 Обезмарганцевание подземных вод	28
8 Обезжелезивание и деманганация воды в водоносном пласте	29
9 Реагентные методы обезжелезивания подземных вод.....	32
10 Обработка промывных вод и осадка станций обезжелезивания подземных вод.....	34
10.1 Общие положения	34
10.2 Отстойники промывных вод.....	34
10.3 Сооружения по обработке осадка	35
Приложение А (рекомендуемое) Выбор метода обезжелезивания в зависимости от качества воды	43
Приложение Б (рекомендуемое) Примеры расчета скорых фильтров	46
Приложение В (рекомендуемое) Пример расчета напорной установки обезжелезивания и обезмарганцевания воды	57
Приложение Г (справочное) Пример расчета срока эксплуатации водозабора с обезжелезиванием в водоносном пласте	59
Приложение Д (рекомендуемое) Примеры расчета реагентной обработки воды	60
Приложение Е (рекомендуемое) Расчет сооружений по обработке промывных вод и обезвоживанию осадка	63
Библиография	68

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

**Сооружения водоподготовки
ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
Правила проектирования****Збудаванні водапідрыхтоўкі
АБЕЗЖАЛЕЗВАННЕ ПАДЗЕМНЫХ ВОД
Правілы праектавання****Water treatment facilities
Iron removal from groundwater
Rules of designing**

Дата введения 2011-01-01

1 Область применения

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее — технический кодекс) распространяется на проектирование сооружений водоподготовки по обезжелезиванию (и обезмарганцеванию) подземных вод.

Технический кодекс устанавливает требования по применению гигиенически, технически и экономически целесообразных методов удаления из воды железа (и марганца).

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом кодексе использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее — ТНПА):¹⁾

ТКП 45-4.01-30-2009 (02250) Водозаборные сооружения. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-4.01-31-2009 (02250) Сооружения водоподготовки. Строительные нормы и правила

СТБ 1884-2008 Строительство. Водоснабжение питьевое. Термины и определения

СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.

Примечание — При пользовании настоящим техническим кодексом целесообразно проверить действие ТНПА по Перечню технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства, действующих на территории Республики Беларусь, и каталогу, составленным по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим техническим кодексом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем техническом кодексе применяют термины, установленные в СТБ 1884, [1] и [2], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 вработанный материал: Фильтрующая загрузка, покрытая пленкой из соединений железа (и марганца).

3.2 вработка фильтра: Начальный период эксплуатации станции обезжелезивания, в процессе которого на поверхности зерен фильтрующего материала образуется плотная адсорбционно-каталитическая пленка из гидроксидов железа (и марганца).

¹⁾ СНБ имеют статус технического нормативного правового акта на переходный период до их замены техническими нормативными правовыми актами, предусмотренными Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

3.3 крупнозернистые фильтры: Скорые фильтры с крупностью зерен 2 мм и более.

3.4 окислительно-восстановительный потенциал: Мера химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в растворах, мВ.

4 Общие требования

4.1 Назначением станций обезжелезивания подземных вод является производство питьевой воды из подземных вод, содержащих железо (и марганец) в повышенных концентрациях. В соответствии с требованиями [1] содержание железа не должно превышать 0,3 мг/л, марганца — 0,1 мг/л. С целью минимизации отложений соединений железа и марганца в распределительной сети целесообразно работу станций обезжелезивания оптимизировать таким образом, чтобы содержание железа и марганца в воде на выходе со станции было существенно меньше нормативных величин.

Особенностью природных вод является наличие в них других компонентов, различных по качественным и количественным характеристикам и усложняющих процесс водоподготовки. Вследствие этого в каждом конкретном случае следует адаптировать по отношению к конкретной воде даже апробированные методы водоподготовки.

4.2 Для разработки технологической схемы станции водоподготовки на предпроектной стадии необходимо иметь следующие данные:

- производительность станции водоподготовки;
- сведения об источниках водоснабжения, доступных для использования;
- полный развернутый анализ качества воды источников водоснабжения с обязательным указанием содержания железа (в том числе по формам), марганца, сероводорода, аммиака (или аммонийных соединений), щелочности, pH, pH_s , окисляемости, диоксида углерода, метана, температуры, жесткости, кальция, общего солесодержания, окислительно-восстановительного потенциала и других ингредиентов при необходимости.

По выбранному водозабору подземных вод необходимо учитывать:

- глубину залегания водоносного горизонта и скважин, геологический разрез, в особенности его защищенность от попадания с поверхности возможных загрязнений;
- отметку статического уровня вод и мощность водоносного пласта;
- реальный дебит скважины, динамический уровень и размеры воронки депрессии;
- пространственное расположение водоносного пласта, а также виды хозяйствования на данной территории и потенциальные источники загрязнения предполагаемых к использованию вод.

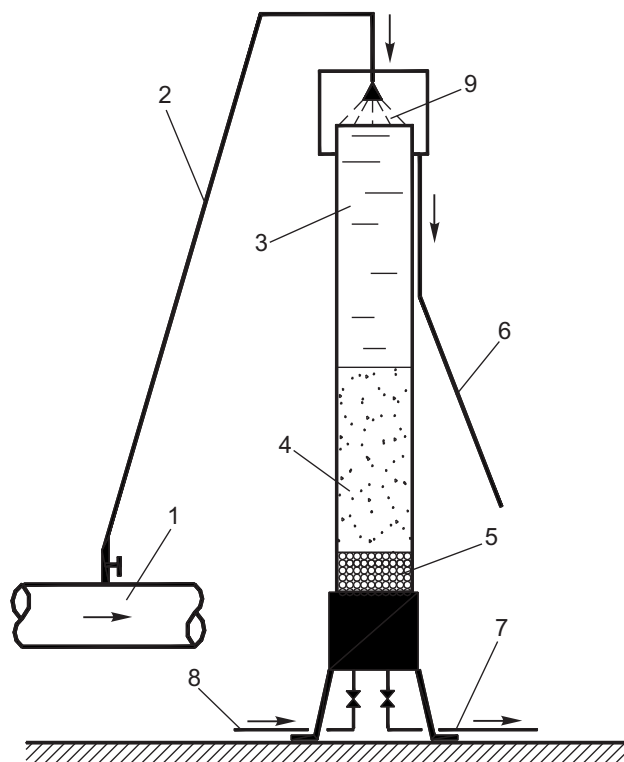
4.3 Количество определений ингредиентов, характеризующих качество воды, должно быть достаточным для установления динамики их изменения во времени.

4.4 Предварительная теоретическая концепция технологической схемы водоподготовки требует проверки с помощью технологических исследований, выполняемых на конкретной воде непосредственно у источника водоснабжения, целью которых является:

- подтверждение, что предполагаемые схема и метод водоподготовки (обезжелезивания) являются наиболее соответствующими;
- установление возможности получения воды требуемого качества;
- получение необходимых данных о достоинствах и недостатках предложенных вариантов для выбора лучшего из них;
- получение информации об эффективности всех этапов обработки воды;
- определение зависимости эффекта обезжелезивания воды от важнейших параметров рассматриваемого процесса (метода);
- определение расчетных значений технологических параметров и оценка их оптимальных и граничных величин с учетом возможных колебаний расхода воды и значений показателей ее качества.

4.5 Следует различать производственные и полупроизводственные исследования. В производственных исследованиях необходимо использовать фильтр существующих сооружений, переоборудованный в соответствии с условиями испытаний; в полупроизводственных — модель фильтра, имитирующую реальный фильтр по высоте, но с меньшей площадью фильтрования.

Для исследований технологической схемы обезжелезивания воды «упрощенная аэрация — скорый фильтр» необходимо применять фильтр, схема которого приведена на рисунке 4.1, диаметром не менее 100 мм и высотой не менее 2000 мм с аэрационным устройством, располагаемый непосредственно у источника водоснабжения.



- 1 — подача воды от скважин; 2 — подача воды на фильтр; 3 — слой воды над загрузкой;
 4 — фильтрующая загрузка; 5 — поддерживающий слой; 6 — отвод промывной воды;
 7 — отвод фильтрата; 8 — подача воды на промывку; 9 — аэрационное устройство

Рисунок 4.1 — Модель экспериментального открытого скорого фильтра

4.6 Фильтр по всей высоте должен быть оборудован пробоотборниками для контроля процесса окисления железа не только в загрузке, но и в толще водяного столба над загрузкой, а также пьезометрами или другими соответствующими устройствами для контроля потерь давления.

4.7 Модель опытного напорного фильтра, оборудованного пробоотборниками для постоянного контроля качества воды и устройствами для измерения потерь давления, приведена на рисунке 4.2. В верхней части установки следует предусматривать вантуз. Схема экспериментальной установки должна включать аэрационное устройство перед поступлением воды на фильтр, в простейшем случае — ввод воздуха от компрессора в перегородчатый напорный смеситель, смонтированный на подающем трубопроводе.

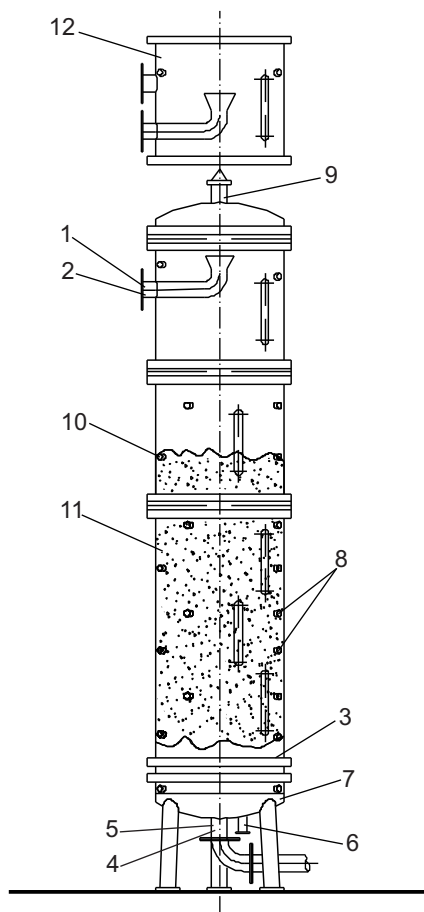
4.8 Исследование режимов промывки фильтров рекомендуется проводить на модели фильтра диаметром не менее 0,3 м. Для получения более точных результатов целесообразно использовать модели с прямоугольным сечением размерами не менее 0,5×1,0 м. Одну или две стороны модели следует изготавливать из прозрачного материала, например акрилового стекла. Параметры модельного фильтра — крупность зерен загрузки, высота слоя (или слоев) и т. д. — должны соответствовать этим же параметрам реального фильтра. При устройстве колпачкового дренажа следует предусматривать от двух до четырех рядов колпачков.

4.9 Трубопроводы для подачи воды и воздуха на промывку должны быть рассчитаны таким образом, чтобы скорости подачи воды и воздуха при промывке могли варьировать в пределах ± 50 % от эксплуатационных значений. Для промывки фильтра следует использовать фильтрат.

Все расходы воды и воздуха необходимо обязательно измерять.

Качественные параметры воды также необходимо определять, при этом следует фиксировать условия отбора проб (время, температуру, расход, продолжительность опыта и т. д.).

Выбор контролируемых параметров определяют задачами исследований.



- 1 — подача воды на фильтр; 2 — отвод воды после промывки фильтра; 3 — дренаж;
 4 — отвод фильтрата; 5 — подача воды на промывку; 6 — подача воздуха на промывку;
 7 — междудонное пространство; 8 — измерители давления; 9 — вентиль; 10 — пробоотборники;
 11 — фильтрующая загрузка; 12 — монтажная вставка

Рисунок 4.2 — Модель экспериментального напорного фильтра

4.10 Рекомендации для проектирования станции (установки) обезжелезивания подземных вод по результатам технологических исследований должны включать следующие основные параметры:

- степень и эффективность аэрации при принятом аэрационном устройстве;
- вид фильтрующей загрузки, ее гранулометрический состав, эффективный диаметр и коэффициент неоднородности, высоту фильтрующего слоя (для многослойных фильтров — для каждого вида загрузки);
- скорость фильтрования при нормальном и форсированном режимах;
- продолжительность фильтроцикла;
- скорость и продолжительность промывки (при водовоздушной промывке в несколько этапов — по каждому этапу, отдельно для воды и воздуха).

4.11 При проведении исследований методом сухого фильтрования дополнительно следует установить требуемое воздушно-водяное соотношение, обеспечивающее необходимый эффект водоподготовки, а также предусмотреть устройства для отвода избытка воздуха из междудонного пространства.

4.12 Экспериментальная установка по реагентному обезжелезиванию воды должна включать дополнительно модели реагентного хозяйства, контактных резервуаров, отстойников или осветлителей со слоем взвешенного осадка с параметрами, предусмотренными ТКП 45-4.01-31 для обработки поверхностных вод, которые в результате исследований могут быть существенно откорректированы.

Завершение водоподготовки осуществляется на скорых фильтрах, которые и в этих схемах являются обязательными элементами установки.

В процессе исследований должны быть установлены дозы реагентов, места и способы их введения в воду; продолжительность пребывания воды, обработанной реагентами, в контактных резервуарах, отстойниках, осветлителях; рекомендуемая скорость фильтрования; продолжительность фильтроцикла; способ и параметры промывки.

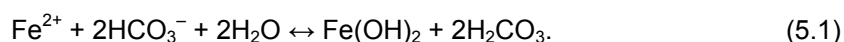
4.13 При проведении исследований по обезжелезиванию воды, помимо технологических параметров самого процесса водоподготовки, должны быть установлены возможность и параметры обработки и повторного использования промывных вод от промывки фильтров, а также методы и параметры обработки осадка.

4.14 Полученные в результате технологических исследований данные являются основанием для разработки проекта станции обезжелезивания подземных вод и расчета всех сооружений в соответствии с ТКП 45-4.01-31.

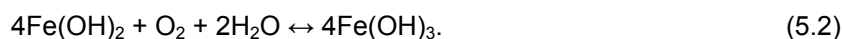
5 Методы удаления железа из воды

5.1 Основные положения

5.1.1 Подземные воды Республики Беларусь содержат железо в двухвалентной форме преимущественно в виде бикарбоната, которое устойчиво только при наличии большого количества углекислоты и при отсутствии растворенного кислорода. При уменьшении концентрации углекислоты и, следовательно, при повышении pH и обогащении воды растворенным кислородом происходит процесс гидролиза железа с образованием его гидроксида:



При этом образуется ряд промежуточных соединений, и в воде одновременно присутствуют как недиссоциированные молекулы, так и ионы двухвалентного железа: $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})^+$. Далее гидроксид двухвалентного железа окисляется в гидроксид трехвалентного железа по уравнению



Здесь также одновременно существуют промежуточные соединения, такие как $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное может протекать при участии микроорганизмов — железобактерий, которые используют энергию, выделяемую при окислении железа.

Поскольку образующийся гидроксид трехвалентного железа нерастворим в воде и легко выпадает в осадок, для удаления двухвалентного железа из подземных вод в большинстве случаев могут быть использованы методы безреагентной (аэрационной) обработки.

5.1.2 Эффективность обезжелезивания воды зависит от многих факторов, среди которых определяющими являются реакция среды pH и окислительно-восстановительный потенциал Eh. На рисунке 5.1 приведена упрощенная диаграмма Пурбе, характеризующая формы нахождения железа в воде в зависимости от pH и Eh. Как видно из диаграммы, железо в трехвалентной форме находится в области, обозначенной $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, т. е. способно отфильтровываться или выпадать в осадок в виде гидроксида железа в диапазоне соответствующих значений pH и Eh.

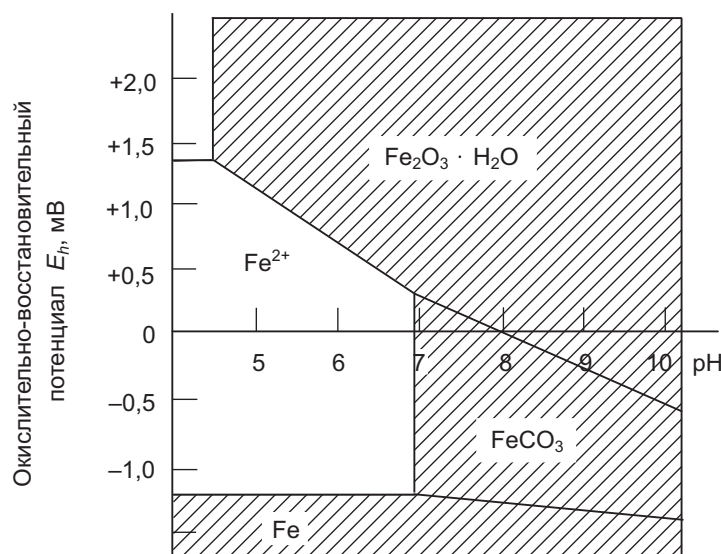


Рисунок 5.1 — Диаграмма состояния соединений железа в зависимости от pH и окислительно-восстановительного потенциала Eh

В процессе обработки воды с относительно низкими значениями pH и Eh аэрацией, окислителями или щелочными реагентами достигается их повышение, что позволяет обеспечить переход железа из устойчивой двухвалентной формы в неустойчивую трехвалентную и последующее отделение его в виде гидроксида в сооружениях водоподготовки.

В соответствии с этим все существующие методы обезжелезивания воды следует подразделять на безреагентные (аэрационные) и реагентные. В первом случае удаление железа из воды достигается предварительным ее аэрированием с последующим одно- или двухступенчатым фильтрованием, во втором случае — использованием методов и сооружений, применяемых для реагентной подготовки поверхностных вод, с использованием фильтрования на заключительном этапе водоподготовки.

5.2 Аэрационные методы обезжелезивания подземных вод

5.2.1 Метод фильтрования с упрощенной аэрацией

5.2.1.1 Метод основан на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой образовывать на поверхности зерен фильтрующего материала адсорбционно-каталитическую пленку из ионов и оксидов двух- и трехвалентного железа, а также из продуктов жизнедеятельности железобактерий.

Пленка представляет собой очень сильный адсорбент губчатой структуры. Одновременно она является катализатором окисления поступающего в загрузку двухвалентного железа и активно интенсифицирует процесс окисления и выделения железа из воды. Обезжелезивание воды в загрузке, покрытой пленкой, является гетерогенным автокаталитическим процессом, в результате чего обеспечивается непрерывное обновление пленки как катализатора непосредственно при работе фильтра. Период образования адсорбционно-каталитической пленки, называемый периодом вработки фильтрующего материала, может длиться до нескольких суток, а иногда недель, после чего начинается стабильная работа фильтра.

Однако на активный катализатор-пленку отрицательно действуют сероводород, коллоидные силикаты, фосфаты, гуминовые кислоты, растворенная уголекислота, аммиак, снижающие эффективность катализатора. В таких случаях требуемая степень очистки воды может быть достигнута снижением скорости фильтрования в соответствии с уменьшением скорости окисления железа или использованием других методов.

Упрощенную аэрацию с последующим фильтрованием допускается применять при следующих показателях качества воды, поступающей на фильтры:

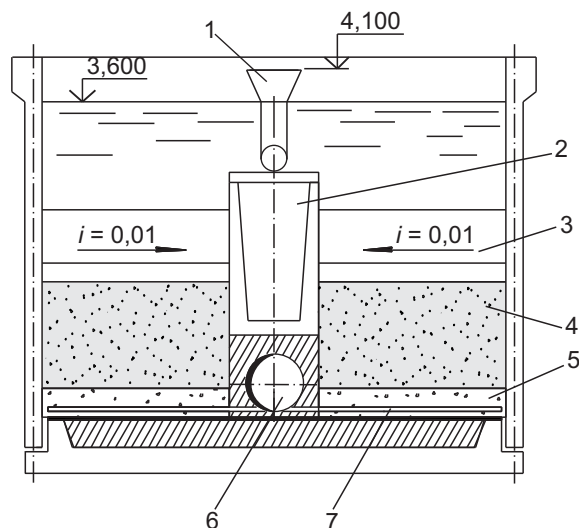
- содержание железа (общего) — до 10 мг/л, в том числе двухвалентного (Fe^{2+}) — не менее 70 %;
- pH — не менее 6,8;
- окислительно-восстановительный потенциал — более 100 мВ;
- щелочность — более 2 ммоль/л;
- содержание сероводорода — не более 0,5 мг/л;
- содержание аммония — до 1,5 мг/л;
- содержание метана — до 0,5 мг/л.

5.2.1.2 Упрощенную аэрацию следует осуществлять с помощью несложных приспособлений путем залива воды из воронки или перфорированного лотка с высоты от 0,5 до 1,0 м в карман или канал фильтра либо путем вдувания воздуха в обрабатываемую воду. На рисунке 5.2 изображен фильтр для обезжелезивания воды по методу фильтрования с упрощенной аэрацией. Обогащение воды кислородом происходит при ее изливе с высоты 0,5 м над уровнем воды в фильтре.

5.2.1.3 В качестве фильтрующей загрузки могут использоваться различные материалы: кварцевый песок, антрацит, дробленый и недробленый керамзит, колотый гранитный щебень, пемза и т. д., требующие предварительной вработки в соответствии с ТКП 45-4.01-31 (14.1.10).

При содержании железа в обрабатываемой воде до 6 мг/л могут использоваться модифицированные материалы (с нанесенной на них каталитической пленкой, чаще всего из соединений марганца), исключаяющие необходимость периода вработки загрузки, так как она с самого начала ввода фильтров в эксплуатацию обеспечивает высокий эффект удаления железа и, при необходимости, марганца из воды. Такими же свойствами обладают природные марганецсодержащие породы, например пиролюзит (см. таблицу А.1 (приложение А)).

При обезжелезивании подземных вод фильтрованием с предварительной аэрацией воды происходят некоторые изменения ее качества в связи с химическим окислением железа, марганца и аммония, что приведено в таблице 5.1.



1 — воронка излива воды на фильтр; 2 — центральный канал; 3 — желоба; 4 — фильтрующая загрузка;
5 — поддерживающие слои; 6 — коллектор дренажной системы фильтра;
7 — распределительные перфорированные трубы

Рисунок 5.2 — Скорый фильтр для обезжелезивания подземных вод фильтрованием с упрощенной аэрацией

Таблица 5.1

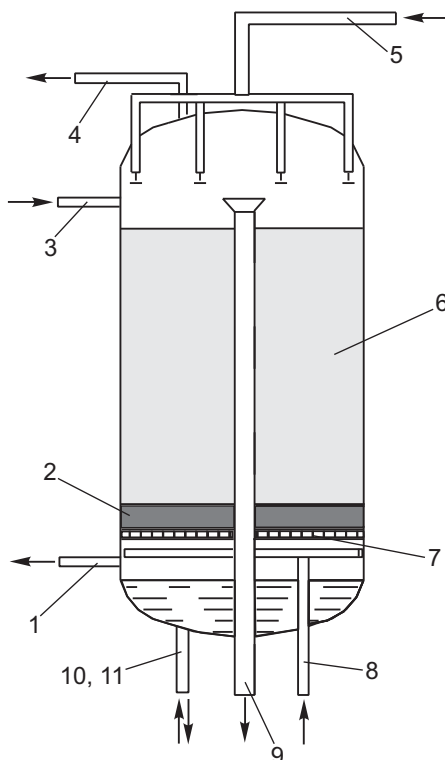
Окисляемый ингредиент	Изменение свойств воды при окислении 1 мг/л ингредиента	Продукт реакции
Железо (II)	Снижение щелочности на 0,0357 ммоль/л	Гидроксид железа (трудно растворимый)
	Снижение значения pH в зависимости от снижения щелочности	
Марганец (II)	Снижение щелочности на 0,0364 ммоль/л	Гидроксид марганца (трудно растворимый)
	Снижение значения pH в зависимости от снижения щелочности	
Аммоний	Снижение щелочности на 0,111 ммоль/л	Нитрат (хорошо растворимый)
	Снижение значения pH в зависимости от изменения щелочности	

При обезжелезивании и обезмарганцевании помимо снижения концентрации железа и марганца происходит уменьшение содержания фосфатов и некоторых других элементов, например мышьяка, никеля и меди.

5.2.2 Метод сухого фильтрования

5.2.2.1 Сухое фильтрование применяется в тех же случаях, что и метод фильтрования с упрощенной аэрацией, но при меньших исходных концентрациях железа — до 6 мг/л, а также при концентрациях аммония более 1,5 мг/л.

Сущность метода заключается в фильтровании воздушно-водяной эмульсии через сухую (незагрязненную) зернистую фильтрующую загрузку нагнетанием большого количества воздуха с последующим отводом его избытка из междудонного пространства. В поровых каналах фильтрующей загрузки образуется турбулентный режим движения смеси, характеризующийся завихрениями и противотоками, что способствует молекулярному контакту воды с поверхностью зерен фильтрующей загрузки. При этом на зернах фильтрующей загрузки формируется плотная адсорбционно-каталитическая пленка из соединений железа (и марганца, если он присутствует в воде), повышающая эффективность процессов деманганизации и обезжелезивания. Схема сухого фильтра приведена на рисунке 5.3.



- 1 — отвод воздуха из междудонного пространства; 2 — поддерживающий слой; 3 — ввод воздуха;
 4 — удаление избытка воздуха; 5 — подача исходной воды; 6 — фильтрующая загрузка;
 7 — ложное днище из пористого полимербетона; 8 — ввод воздуха на промывку;
 9 — отвод промывной воды после промывки фильтра;
 10, 11 — подача воды на промывку, отвод фильтрата

Рисунок 5.3 — Схема сухого фильтра

5.2.2.2 Пленка состоит из магнетита, сидерита, гетита и гематита, имеющих плотную структуру и объем в 4–5 раз меньше, чем гидроксида железа при упрощенной аэрации-фильтровании. Поэтому темп прироста потерь напора в фильтрующей загрузке при сухом фильтровании ниже, а продолжительность фильтроцикла выше, чем в обычных фильтрах.

5.2.2.3 Эффект обезжелезивания воды зависит от следующих основных факторов: воздушно-водяного соотношения, скорости фильтрования, параметров фильтрующей загрузки, степени диспергирования воды, pH аэрированной воды.

Воздушно-водяное соотношение должно соответствовать содержанию железа в обрабатываемой воде. Например, при исходном содержании железа до 2,5 мг/л его следует принимать от 2:1 до 3:1. Следует учитывать, что с увеличением воздушно-водяного соотношения уменьшается содержание свободной углекислоты в воде после аэрации и увеличивается ее pH на 5 %–8 %. Вследствие этого необходимо контролировать pH_с, чтобы не допустить его превышения с выделением из воды карбоната кальция CaCO₃ в результате нарушения углекислотного равновесия.

5.2.2.4 При увеличении степени разбрызгивания интенсифицируются процессы окисления, гидролиза и адсорбции ионов железа и марганца на зернах фильтрующей загрузки вследствие увеличения площади соприкосновения фаз, что способствует достижению более высокого эффекта очистки воды.

5.2.2.5 При обработке вод сложного состава следует предусматривать многослойные сухие фильтры или двухступенчатое фильтрование (сухой фильтр — скорый фильтр) для удаления из воды остаточных концентраций железа, аммония и марганца.

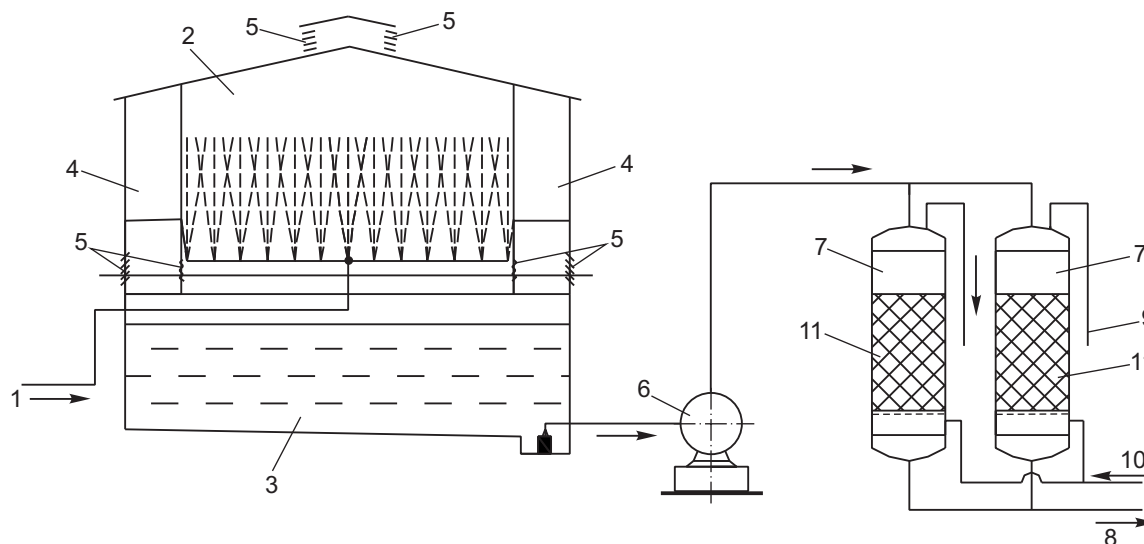
5.2.3 Метод фильтрования с интенсивной аэрацией

5.2.3.1 Метод фильтрования с предварительной интенсивной (глубокой) аэрацией следует применять при наличии повышенных концентраций растворенных в воде газов — сероводорода, метана и свободной углекислоты, а также при невозможности обеспечения упрощенной аэрацией требуемого содержания кислорода.

5.2.3.2 В состав водоподготовительной установки входят аэрационное устройство и скорые фильтры, напорные или безнапорные. При необходимости предусматривается промежуточная емкость (контактный резервуар) между аэратором и фильтрами с продолжительностью пребывания воды, исключающей образование хлопьев гидроксида железа и выпадение их в осадок и устанавливаемой в процессе предпроектных технологических исследований.

5.2.3.3 Установка с глубокой аэрацией разбрызгиванием, контактным резервуаром и напорными скорыми фильтрами приведена на рисунке 5.4.

Глубокая аэрация воды производится различными способами: разбрызгиванием воды в воздухе специальными устройствами, пропуском воды через градирни инжектированием воздуха, вдуванием его в воду через дырчатые трубы или пористые (сетчатые) пластины и др. (6.1).



1 — подача воды на аэрацию; 2 — зал аэрации; 3 — контактный резервуар; 4 — галерея;
5 — отверстия для аэрации/дегазации; 6 — насос подачи воды на фильтры; 7 — скорый напорный фильтр;
8 — отвод фильтрата; 9 — воздушник; 10 — подача воздуха при промывке

Рисунок 5.4 — Схема обезжелезивания подземных вод с глубокой аэрацией

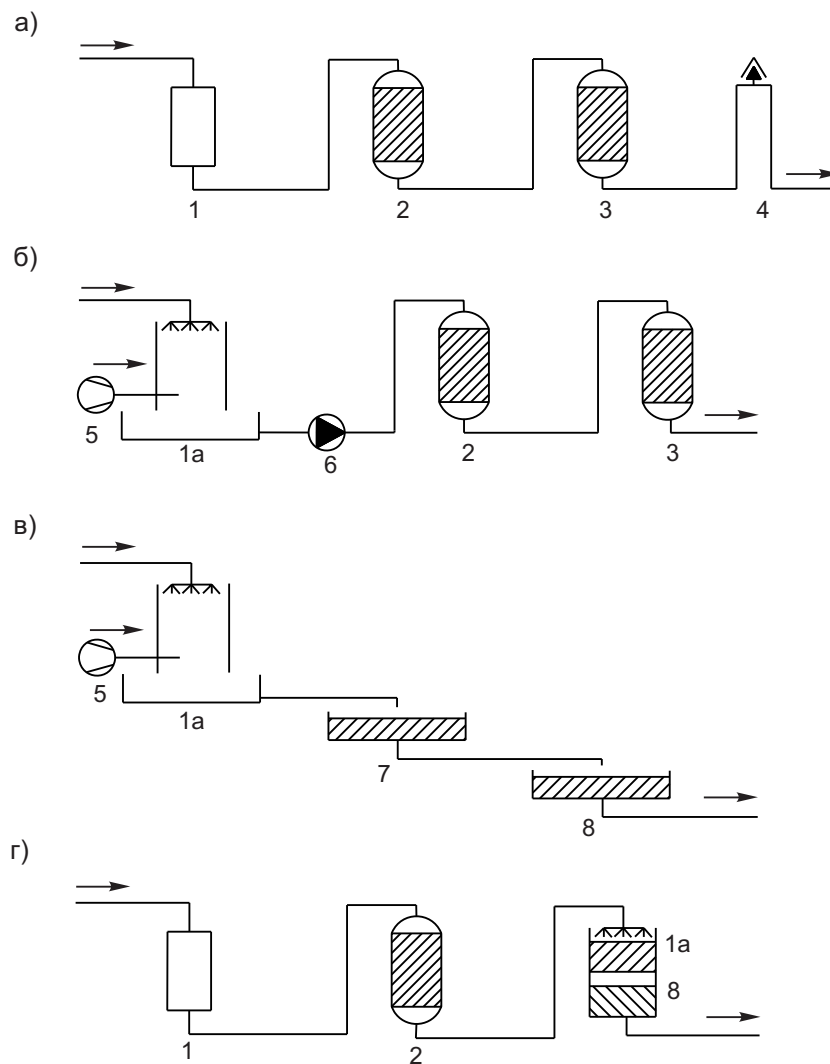
5.2.4 Обезжелезивание высокожелезистых подземных вод

5.2.4.1 Обезжелезивание высокожелезистых подземных вод (с содержанием железа от 10 до 20 мг/л) следует осуществлять применением двухступенчатого фильтрования, при этом в зависимости от качества воды могут быть использованы различные схемы обработки воды с использованием напорных и безнапорных фильтров и аэраторов (рисунок 5.5).

5.2.4.2 Фильтры первой ступени загружаются более крупной загрузкой, чем фильтры второй ступени. Высота слоя загрузки на первой ступени больше, и скорость фильтрования, как правило, выше. Технологические параметры фильтра первой ступени должны быть подобраны таким образом, чтобы содержание железа в фильтрате было не выше 5–7 мг/л, что является исходной концентрацией железа для фильтра второй ступени.

5.2.4.3 Двухступенчатое фильтрование следует использовать и при содержании железа менее 10 мг/л, если в воде одновременно присутствует марганец, что необходимо для разделения процессов обезжелезивания и обезмарганцевания воды. В этом случае первая ступень фильтрования обеспечивает обезжелезивание, вторая — обезмарганцевание воды.

5.2.4.4 Допускается осуществление двухступенчатого фильтрования в одном напорном двухсекционном фильтре при последовательной работе секций, приведенном на рисунке 6.17 а).



1 — закрытый аэратор; 1а — открытый аэратор-дегазатор; 2 — напорный фильтр первой ступени;
3 — напорный фильтр второй ступени; 4 — устройство для дегазации воды; 5 — воздуходувка;
6 — насос; 7 — открытый (безнапорный) фильтр первой ступени; 8 — открытый фильтр второй ступени

Рисунок 5.5 — Схемы обезжелезивания воды двухступенчатым фильтрованием:

а — напорная;
б — с напорными фильтрами и открытой аэрацией;
в — безнапорная;
г — комбинированная — с напорными смесителем и фильтром
на первой ступени и открытой аэрацией
с безнапорными фильтрами на второй

5.2.5 Обезжелезивание воды непосредственно в водоносном пласте

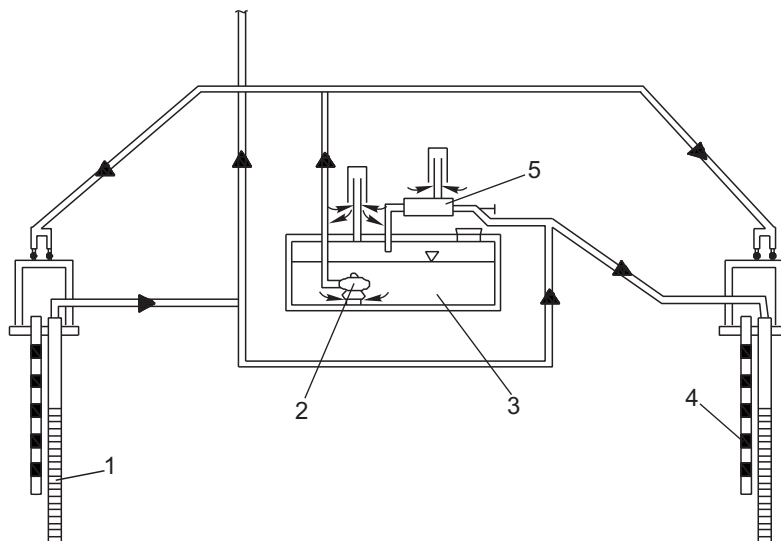
5.2.5.1 Обезжелезивание воды непосредственно в водоносном пласте (метод подземного обезжелезивания) основано на тех же принципах окисления двухвалентного железа до трехвалентного, но непосредственно в водоносном пласте. При одновременном присутствии в воде и марганца происходит также его окисление до четырехвалентного.

Рекомендуемое содержание железа в воде — не более 3–6 мг/л.

5.2.5.2 Сущность метода заключается в закачке в водоносный пласт обогащенной кислородом воды с целью формирования вокруг скважины окислительной зоны, в пределах которой при последующей откачке задерживаются железо и марганец. Одна из схем осуществления метода приведена на рисунке 5.6.

В пределах окислительной зоны повышается окислительно-восстановительный потенциал, что обеспечивает окисление двухвалентных железа и марганца и задержание их в виде гидроксидов на зернах водовмещающих пород водоносного пласта. Значительная роль в подземном обезжелезивании и обезмарганцевании воды принадлежит железо- и марганцеоксилирующим бактериям.

5.2.5.3 Закачка обогащенной кислородом воды может осуществляться как через специально предназначенные для этого скважины, так и эксплуатационные, работающие попеременно закачными (инфильтрационными) или эксплуатационными, из которых отбирается очищенная вода.



1 — эксплуатационная скважина; 2 — насос; 3 — обогащенная кислородом вода;
4 — нагнетательная скважина; 5 — устройство для обогащения воды кислородом

Рисунок 5.6 — Установка для обезжелезивания воды в водоносном пласте

5.2.6 Реагентные методы обезжелезивания подземных вод

5.2.6.1 Аэрационные методы обезжелезивания подземных вод оказываются полностью (или частично) непригодными при наличии в них железа в виде гуминовокислого. Чаще всего такие воды характеризуются низкими значениями pH и Eh (при этом окислительно-восстановительный потенциал может иметь отрицательные значения) или имеют низкую щелочность, высокую окисляемость и т. д. Требуемый эффект очистки воды от железа достигается в таких случаях применением реагентов (раздел 9). Состав сооружений кроме фильтров должен включать смесительные устройства, контактные резервуары, отстойники или осветлители со слоем взвешенного осадка. Для хранения реагентов, приготовления их растворов и дозирования в обрабатываемую воду должно предусматриваться реагентное хозяйство, проектирование которого, как и остальных сооружений, следует осуществлять в соответствии с ТКП 45-4.01-31 (7.1 и раздел 18).

5.2.6.2 Для предварительных проектных проработок при выборе метода обезжелезивания в зависимости от качества воды допускается использование данных таблицы А.1 (приложение А).

6 Обезжелезивание подземных вод фильтрованием с предварительной аэрацией

6.1 Аэраторы, их назначение и типы

6.1.1 Аэраторы являются сооружениями для обогащения воды кислородом воздуха. Помимо этого их назначением является:

- нарушение углекислотного равновесия и уменьшение коррозионных свойств воды;
- удаление из воды растворенных в ней газов, таких как свободная углекислота, сероводород и метан.

Конструкция аэраторов должна обеспечить возможно большую поверхность контакта воздуха с водой с одновременным перемешиванием аэрированной воды, а также легкий (эффективный) доступ воздуха для удаления газов и летучих субстанций, выделяющихся из воды.

6.1.2 Применяемые в практике обезжелезивания подземных вод аэраторы можно классифицировать следующим образом:

- впрыскивающие, разбрызгивающие капли, струи или частички воды в атмосферный воздух;
- вводящие воздух в воду в виде мелких пузырьков;
- со смешанными свойствами, которые нельзя отнести ни к одной из перечисленных групп.

К первой группе относятся дождевальные, разбрызгивающие (градирни), каскадные и дождевально-каскадные аппараты. Ко второй группе относятся барботажные и напорные аэраторы, в которых воздух подается в воду под давлением с помощью диффузоров, выделяющих мелкие пузырьки воздуха и обеспечивающих интенсивное смешивание воздуха с водой. К третьей группе можно отнести устройства эжекционного типа.

6.1.3 Основным элементом разбрызгивающих аппаратов являются насадки, наиболее распространенные типы которых приведены на рисунке 6.1. Насадки следует располагать в специальном аэрационном помещении (см. рисунок 5.4, поз. 2). Вода для аэрации подается в них под давлением. Производительность одной насадки зависит от диаметра ее выходного отверстия и давления, под которым подводится вода. Насадки размещаются на трубопроводах распределительной системы таким образом, чтобы разбрызгиваемая вода направлялась вверх. Под распределительными трубопроводами находится покрытие, по которому ниспадающая вода стекает в контактный резервуар, а затем подается на фильтры. Разбрызгиваемая двойными насадками вода достигает высоты — по отношению к выходному отверстию — от 1,5 до 2,0 м (при величине избыточного давления 0,05 МПа), а при использовании одноструйных насадок — от 3 до 4 м (при избыточном давлении 0,1 МПа).

6.1.4 Производительность двойной насадки без перегородки составляет 2,8 м³/ч при избыточном давлении воды 0,05 МПа. Насадка с перегородкой имеет производительность от 2,5 до 5,3 м³/ч в зависимости от диаметра отверстия при таком же избыточном давлении.

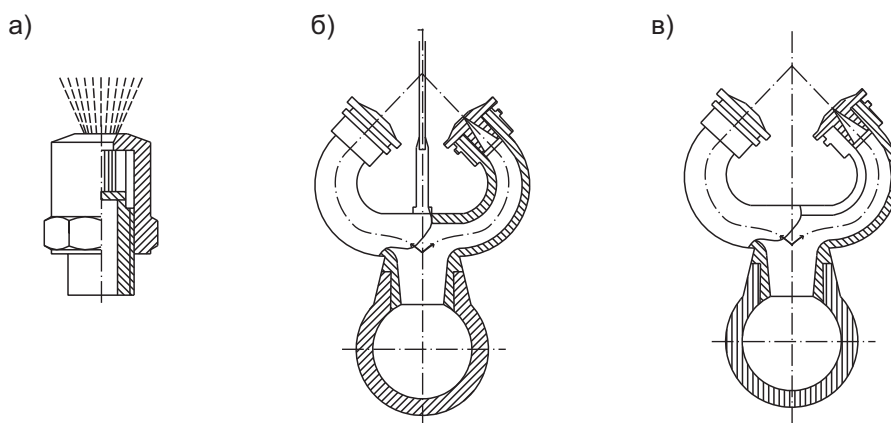


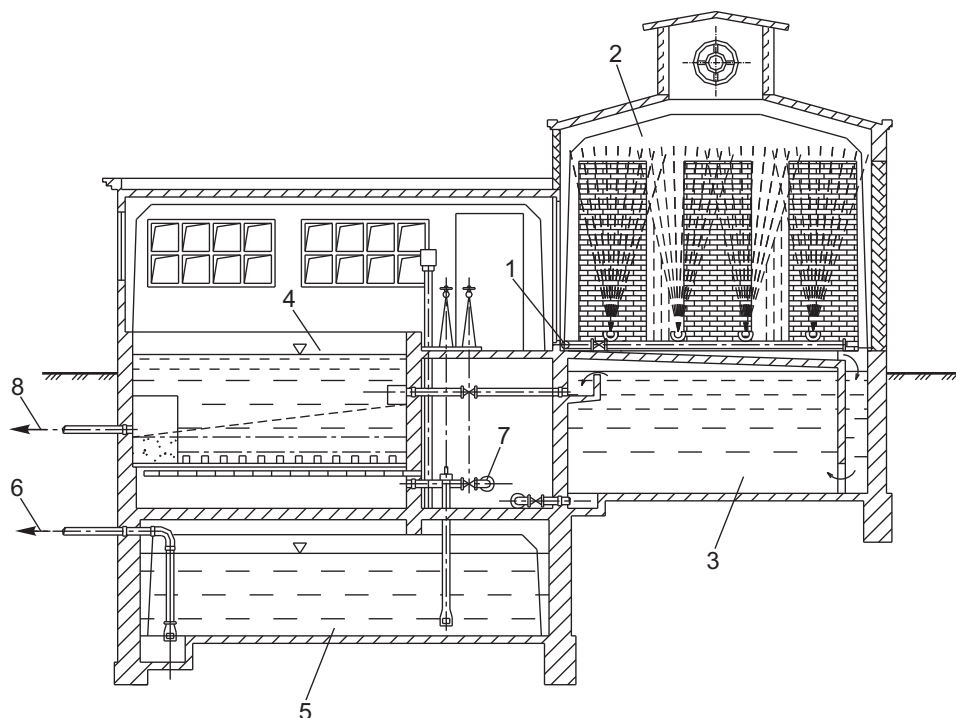
Рисунок 6.1 — Насадки аэрационные:

- а** — одноструйная;
- б** — двойная с отражающей перегородкой;
- в** — двойная

6.1.5 При проектировании помещений для двойных насадок следует исходить из гидравлической нагрузки на поверхность разбрызгивания, принимаемой от 2,5 до 3,6 м³/(ч·м²).

6.1.6 Аэрация с разбрызгивающими насадками одновременно обеспечивает удаление СО₂ в количестве от 50 % до 70 %. Допускается применение других типов разбрызгивающих насадок, обеспечивающих не только аэрацию, но и дегазацию воды. Пример использования насадок приведен на рисунке 6.2.

6.1.7 Высокий эффект аэрации обеспечивает насадка эжекционного типа, в которую вода подается под давлением. В нижней части насадки, приведенной на рисунке 6.3, имеются отверстия, через которые поступает воздух. Он смешивается с водой в суженной, а затем в верхней, расширенной части насадки. Смесь воды и воздуха вытекает из насадки в виде пенящейся струи, а затем ниспадает вниз на пол камеры аэрации.



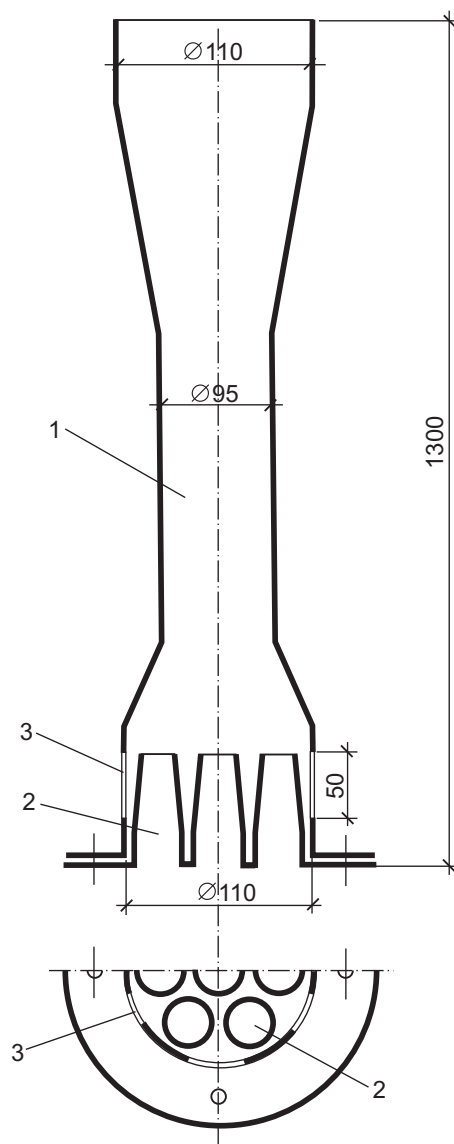
- 1 — подача исходной воды; 2 — аэрационный зал; 3 — отстойник;
 4 — скорый фильтр; 5 — РЧВ; 6 — отвод чистой воды;
 7 — подача воды на промывку; 8 — отвод воды после промывки

Рисунок 6.2 — Скорый безнапорный фильтр с аэрационным залом

Насадки просты в конструкции, надежны в работе и не разбрызгивают воду на стены аэрационного зала. Производительность и эффект аэрации насадок приведены в таблице 6.1. Распределительная система, на которой монтируются насадки, проектируется исходя из скорости движения воды, которую следует принимать от 1,0 до 1,5 м/с.

Таблица 6.1

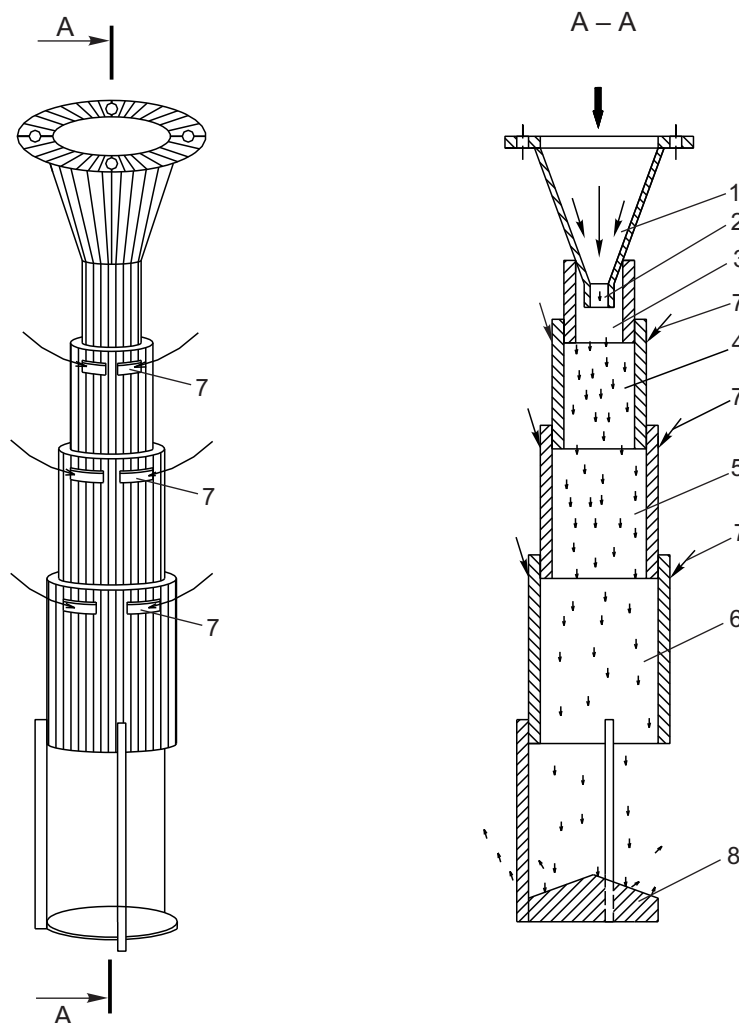
Избыточное давление, МПа	Производительность насадки, м ³ /ч	Высота струи воды, м	Радиус разбрызгивания воды, м	Насыщение воды кислородом после аэрации, %
0,01	3,5	0,2	0,25	55,0
0,02	5,0	1,0	0,50	70,0
0,03	6,3	1,5	0,65	75,0
0,04	7,5	2,0	0,80	79,4
0,05	8,3	2,5	0,95	83,0
0,06	9,1	3,0	1,10	86,0



1 — корпус насадки; 2 — патрубки подачи воды; 3 — отверстия для всасывания воздуха

Рисунок 6.3 — Аэрационная насадка эжекторного типа

6.1.8 Более высокой эффективностью аэрации-дегазации отличается вакуумно-эжекторная насадка, приведенная на рисунке 6.4.



1 — конически сходящийся патрубок; 2 — сопло Вентури; 3 — вакуумная камера;
4, 5, 6 — эжекционные камеры; 7 — окна для подсоса воздуха и удаления диоксида углерода и других газов;
8 — отражательная пластина

Рисунок 6.4 — Вакуумно-эжекционная насадка

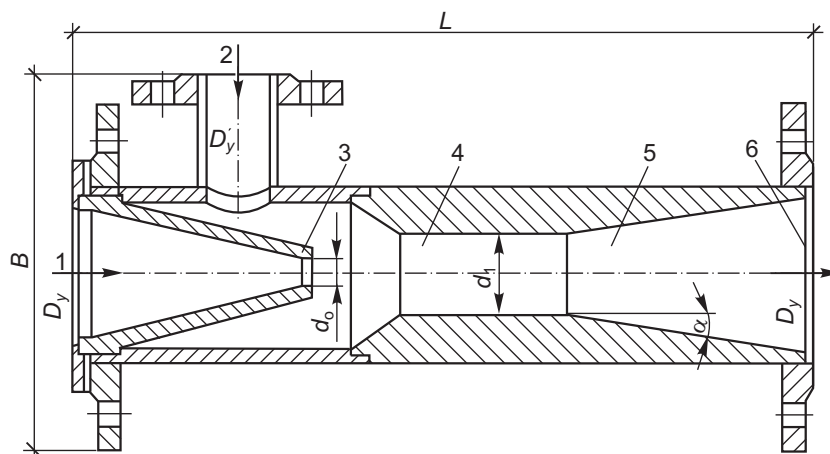
Благодаря мгновенному удалению свободной углекислоты вакуумная камера обеспечивает повышение величины pH воды, что способствует более эффективному ее обезжелезиванию. Одновременно с углекислотой удаляются и другие газы, находящиеся в воде.

Для равномерного эжектирования воздуха по всему периметру камеры предусматриваются окна. Суммарная длина окон по периметру каждой камеры смешения принимается равной половине ее окружности. Высота окна зависит от диаметра камеры смешения, принимаемого от 20 до 150 мм.

Объем эжектируемого воздуха составляет от 0,5 до 3,0 объемов обрабатываемой воды.

Давление воды перед эжекционным аппаратом должно быть в пределах от 0,3 до 0,9 МПа и более в зависимости от диаметра сопла Вентури. Количество эжекционных камер принимается от двух до шести.

6.1.9 Смешение воды с воздухом (бескомпрессорное обогащение воды кислородом воздуха) может быть достигнуто применением эжекторов, схема одного из которых марки ЭВ-50-7 приведена на рисунке 6.5, в таблице 6.2 приведены его размеры и масса.



1 — подача воды; 2 — ввод воздуха; 3 — конический насадок; 4 — камера смешения;
5 — диффузор; 6 — подсоединение трубопровода водовоздушной смеси

Рисунок 6.5 — Эжектор

Таблица 6.2

Марка эжектора	L , мм	B , мм	d_0 , мм	d_1 , мм	D_y , мм	D'_y , мм	α°	Масса, кг
ЭВ-50-7	412	154	7	30	50	32	5	8,8

Допускается применение других конструкций эжекторов, в том числе выполненных из полимерных материалов — винипласта, полиэтилена и т. п.

6.1.10 Аэрация воды в градирнях происходит при протекании ее через загрузку из кокса, шлака, гранитного щебня или других материалов, в том числе полимерных. Стекающая тонкими слоями вода обеспечивает большую поверхность контакта с воздухом, что обуславливает высокий эффект аэрации и дегазации. Протекание воздуха через градирни обеспечивается либо ее конструкцией, либо применением вентилятора.

6.1.11 При проектировании градирен необходимо принимать следующие параметры:

— для одноступенчатых градирен:

гидравлическая нагрузка q — от 3 до 6 м³/(ч·м²);

высота загрузки H — от 2 до 3 м;

высота разлива воды над загрузкой h — 1 м;

— для полочных градирен:

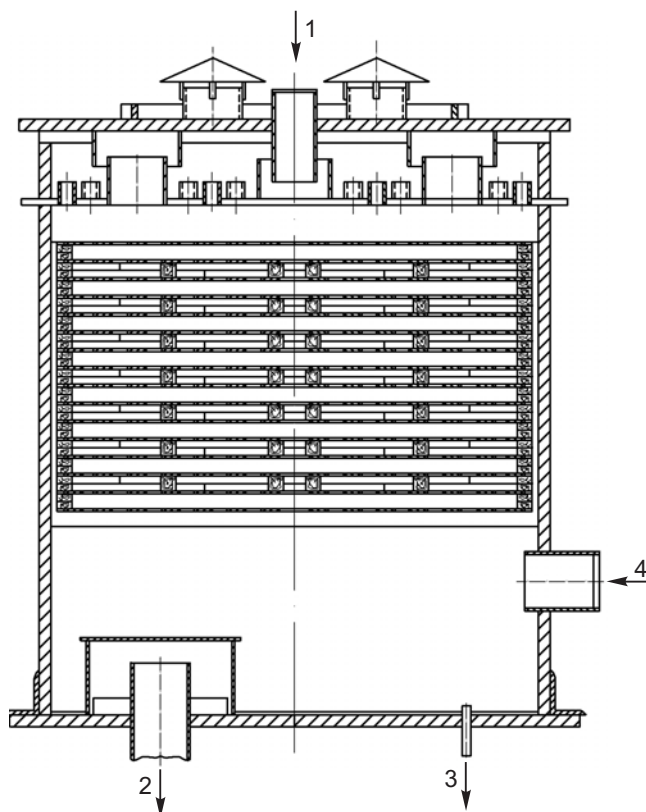
гидравлическая нагрузка на полку q — 20 м³/(ч·м²);

количество полок n принимается от 3 до 5 в зависимости от содержания соединений железа в воде ($n = 3$ при $Fe \leq 5$ мг/л, $n = 4$ при $5 \leq Fe \leq 10$ мг/л, $n = 5$ при $10 \leq Fe \leq 15$ мг/л);

высота одной полки — от 0,3 до 0,4 м; расстояние между полками — 0,6 м.

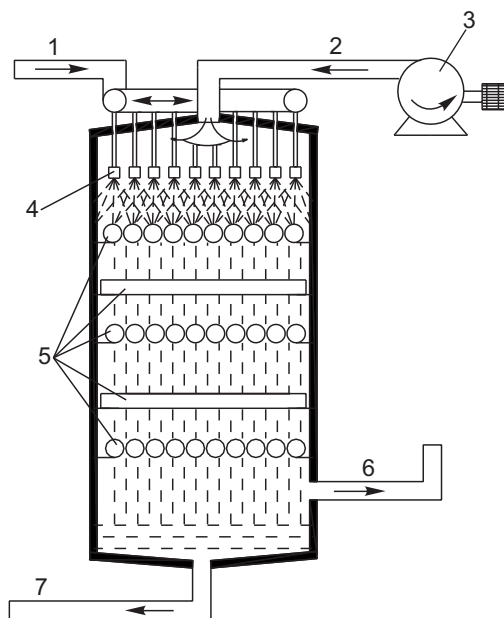
Наиболее эффективно применение вентиляторных градирен (рисунок 6.6), обеспечивающих самую высокую степень удаления свободной углекислоты.

6.1.12 В каскадных аэраторах число каскадов назначается в зависимости от количества подлежащей удалению углекислоты. Каскадно-трубчатый аэратор, приведенный на рисунке 6.7, представляет собой башню, имеющую внутри горизонтальные перегородки в виде решетки из труб.



1 — подача воды; 2 — отвод воды; 3 — опорожнение; 4 — подача воздуха

Рисунок 6.6 — Схема вентиляционной градирни



1 — подача воды; 2 — подача воздуха; 3 — вентилятор; 4 — разбрызгивающие насадки;
5 — перегородки из труб; 6 — отвод избытка воздуха; 7 — отвод воды

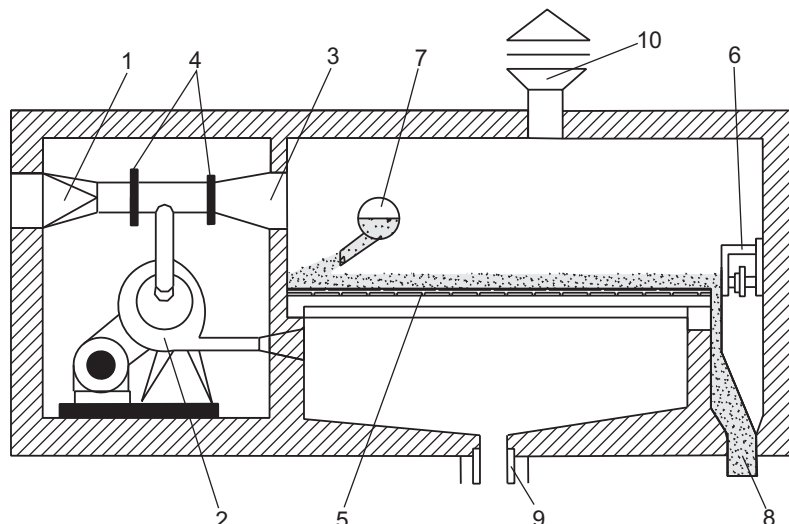
Рисунок 6.7 — Каскадно-трубчатый аэратор

Вода подается над самой верхней решеткой с помощью разбрызгивающих насадок, направленных вниз. Отверстия в верхней и нижней частях аэратора обеспечивают подток воздуха, вызываемый движением воды.

Каскадно-трубчатые аэраторы могут работать при гидравлической нагрузке до $250 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$. Эффект удаления свободной углекислоты — до 60 %.

6.1.13 На рисунке 6.8 приведен аэратор с барботированием воды сжатым воздухом, проходящим через перфорированное дно аэрационной камеры под определенным избыточным давлением. При проектировании этого аэратора необходимо учитывать следующие параметры:

- эффект удаления CO_2 — до 60 %;
- требуемый расход воздуха — от 30 до 50 м^3 на 1 м^3 воды;
- гидравлическую нагрузку на поверхность дна камеры — от 50 до $100 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$.



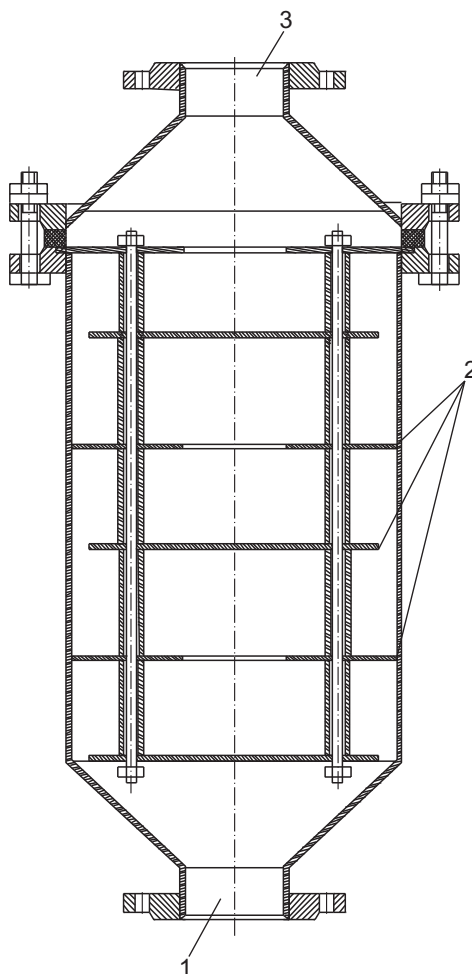
- 1 — подача воздуха; 2 — вентилятор; 3 — рециркуляция воздуха; 4 — рециркуляционный затвор;
 5 — перфорированная плита; 6 — затвор для регулирования уровня жидкости;
 7 — подача воды для аэрации; 8 — отвод аэрированной воды; 9 — опорожнение с сифонным затвором;
 10 — отток воздуха

Рисунок 6.8 — Аэратор с барботированием воды воздухом

6.1.14 Фильтрованию воды в обезжелезивающих напорных фильтрах предшествует аэрация воды сжатым воздухом в закрытых (напорных) аэраторах, которые монтируются непосредственно на трубопроводе, подающем исходную воду на обезжелезивающие фильтры. Серийные характеристики одного из типов напорных аэраторов приведены в таблице 6.3, пример конструкции такого аэратора приведен на рисунке 6.9.

Таблица 6.3

Диаметр D , мм	Монтажная высота H , мм	Объем W , м^3	Расход воды q , $\text{м}^3/\text{ч}$
300	850	0,044	0,9–5,3
400	930	0,084	1,7–10,0
500	990	0,139	2,8–16,7
600	1090	0,216	4,3–26,0



1 — ввод воздуха и исходной воды; 2 — перегородки;
3 — отвод аэрированной воды на фильтры

Рисунок 6.9 — Напорный аэратор

Воздух, подаваемый в аэратор, в процессе обезжелезивания воды является источником кислорода, необходимого для окисления двухвалентного железа до трехвалентного, а также способствует удалению избытка свободной углекислоты и других газов, растворенных в воде. Хотя теоретически на окисление 1 г Fe^{2+} до Fe^{3+} необходимо 0,143 г кислорода, в реальных условиях для благоприятного протекания процесса аэрации воды и удаления растворенных в ней газов требуется избыток воздуха. Поэтому количество подаваемого на аэратор воздуха должно составлять от 1 до 3 дм^3 на 1 г Fe^{2+} (устанавливается технологическими исследованиями). Воздух должен вводиться в воду под давлением на 0,1 МПа выше рабочего давления в фильтре. Необходимое время контакта воздуха с водой в аэраторе — от 0,5 до 3,0 мин.

Для предварительных расчетов при отсутствии результатов технологических исследований непосредственно у источника водоснабжения производительность компрессора $Q_{\text{комп}}$, л/м^3 , для нагнетания воздуха в напорный аэратор может быть определена по формуле

$$Q_{\text{комп}} = \frac{(Q_a - Q_{\text{и}}) \cdot 5 \cdot 3}{1,43}, \quad (6.1)$$

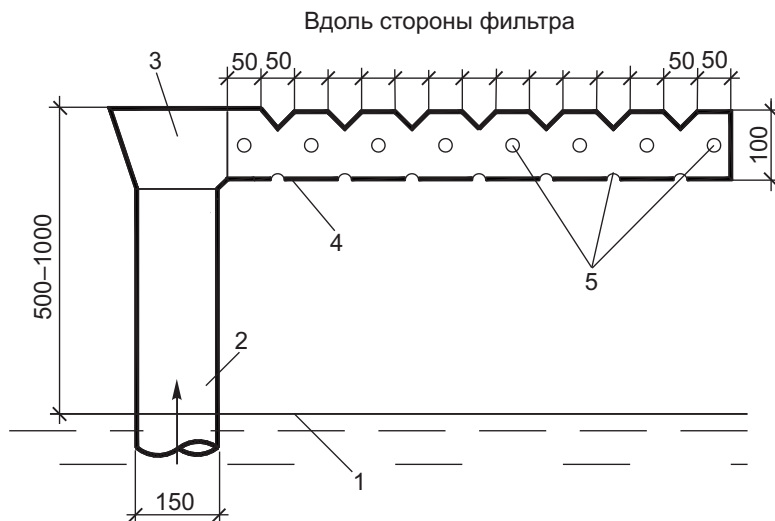
- где Q_a — требуемое содержание кислорода в воде после аэрации, мг/л ;
 $Q_{\text{и}}$ — содержание кислорода в исходной воде, мг/л ;
 5 — соотношение содержания кислорода к содержанию азота в воздухе;
 3 — трехкратный избыток воздуха в связи с невысокой растворимостью кислорода в воде;
 1,43 — пересчет O_2 из мг в мл .

6.1.15 Подаваемый внутрь напорных аэраторов воздух должен быть сжат в безмасляных компрессорах или подвергаться обезжириванию, так как даже небольшое количество масла в нагнетаемом воздухе существенно ограничивает эффективность адсорбции кислорода водой и приводит к неудовлетворительному эффекту аэрации.

6.1.16 В открытых фильтрах при использовании метода обезжелезивания воды с упрощенной аэрацией предусматривается излив воды с помощью воронки на подающей трубе, располагаемой на высоте от 0,5 до 1,0 м над уровнем воды в фильтре (см. рисунок 5.2), или с помощью перфорированного или глухого лотка, располагаемого по длине фильтра на той же высоте. Схема лотка с круглой перфорацией и треугольными водосливами приведена на рисунке 6.10. Во многих случаях такая аэрация воды оказывается достаточной для эффективного протекания процесса обезжелезивания воды.

Определение суммарной площади отверстий осуществляется при условии скорости движения воды в них не менее 1 м/с и расходе воды, приходящемся на отверстия, равном 50 %–60 % от расхода, подаваемого на фильтр. Остальная часть воды переливается через треугольные водосливы. Более высокую степень аэрации можно получить при устройстве не круглых, а продольных (щелевых) отверстий с высотой щелей от 10 до 20 мм и шириной от 80 до 100 мм. Как отверстия, так и щели располагаются в три ряда в шахматном порядке.

Ширина треугольных водосливов и гладких участков лотка может быть увеличена до 150 мм.



1 — уровень воды в фильтре; 2 — подающий трубопровод; 3 — воронка излива воды;
4 — перфорированный лоток; 5 — отверстия

Рисунок 6.10 — Схема перфорированного лотка

6.1.17 При положительных результатах технологических исследований могут применяться другие типы и конструкции аэраторов-дегазаторов.

6.1.18 В случае загрязненности воздуха токсичными или радиоактивными соединениями, а также для лучшей управляемости процессом аэрации воды целесообразно использовать чистый кислород, поставляемый на станцию обезжелезивания в баллонах. Применение чистого кислорода позволяет управлять процессом обогащения им воды и поддерживать постоянной его концентрацию.

6.2 Скорые фильтры

6.2.1 В результате технологических исследований по обезжелезиванию воды непосредственно у источника водоснабжения должны быть установлены основные параметры проектирования скорых фильтров: зависимость эффекта обезжелезивания от скорости фильтрования, высота слоя загрузки и ее гранулометрический состав, продолжительность фильтроцикла, скорость промывки и ее продолжительность и т. д. (см. раздел 4). Расчетная скорость фильтрования при проектировании должна быть уменьшена на 15 %–20 % по отношению к полученным в результате исследований значениям.

6.2.2 Важным элементом фильтров является фильтрующая загрузка, в качестве которой применяются различные материалы, которые должны соответствовать следующим требованиям:

- не должны содержать токсичных элементов или веществ, ухудшающих качество фильтрата;
- должны быть устойчивыми к измельчению и истиранию в процессе промывки фильтра;
- плотность материала должна быть, как правило, выше плотности воды;
- должны быть из числа разрешенных Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Следует учитывать также доступность материала и его стоимость.

6.2.3 Фильтрующие материалы в зависимости от происхождения подразделяются на природные, видоизмененные природные и синтетические. К материалам природного происхождения относятся: кварцевый песок, колотый гранит, мраморная крошка, антрацит и др. Видоизмененные получают в результате специальной обработки природных материалов, например: с помощью обжига получают полуобожженный доломит; обработкой угля высокими температурами и давлением — активированный уголь; нанесением адсорбционно-каталитической пленки с помощью химических реагентов — модифицированные материалы; высокотемпературной обработкой глины — керамзит и т. д. Синтетические фильтрующие материалы являются продуктом химического синтеза, например: иониты, полимерные материалы.

6.2.4 Общая площадь фильтрования для станции обезжелезивания подземных вод A_{ϕ} , м², может быть определена по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.1)), упростив которую, получаем

$$A_{\phi} = \frac{q}{v}, \quad (6.2)$$

где q — расчетная производительность станции, м³/ч;
 v — скорость фильтрования, м/ч.

Для предварительных расчетов (при отсутствии результатов технологических исследований) скорость фильтрования в зависимости от принятого типа фильтра и вида фильтрующей загрузки следует принимать по ТКП 45-4.01-31 (таблица 8.1) или при принятой загрузке из кварцевого песка определять по ТКП 45-4.01-31 (формула (14.1)).

6.2.5 Площадь фильтрования одного фильтра не должна превышать, м²:

- 60 — для открытых скорых фильтров;
- 20 — для напорных фильтров.

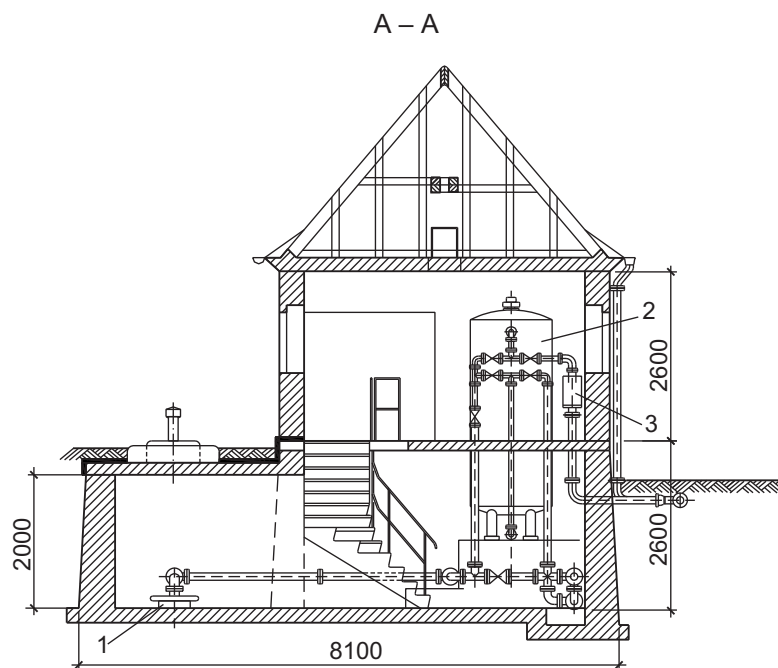
Число фильтров на станции должно быть не менее четырех, при обосновании — не менее двух; для станций производительностью менее 100 м³/ч с напорными фильтрами допускается применение одного фильтра. На рисунке 6.11 приведена схема установки напорного фильтра, располагаемого в одном здании со скважиной.

6.2.6 Допускается одно- и двухрядное расположение фильтров, как показано на рисунке 6.12. Однорядное расположение допускается с разбивкой на два блока. Бетонные камеры для фильтров следует выполнять монолитными, стены должны быть сплошными и гладкими, а изнутри — выложены легкоочищаемой керамической плиткой.

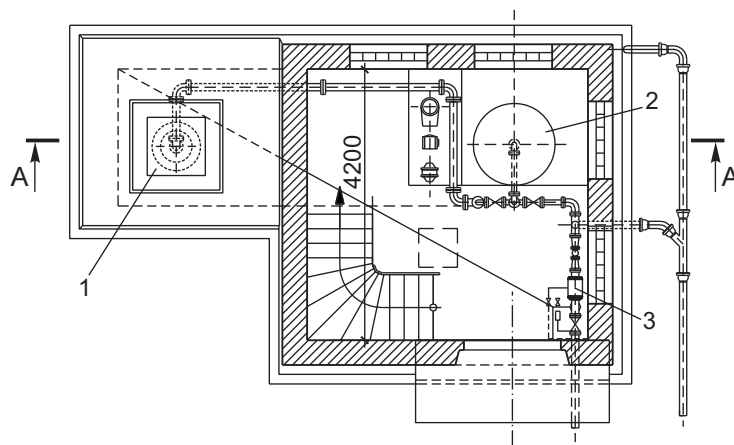
6.2.7 Подача воды на фильтр должна обеспечивать спокойное равномерное распределение ее над фильтрующим слоем так, чтобы поток не размывал загрузку. Для этого необходимо предусматривать подачу исходной воды в канал, функционально связанный с желобами для отведения промывной воды после промывки фильтров.

6.2.8 Желоба следует выполнять из монолитного бетона или железобетона непосредственно при строительстве, а также из других материалов, разрешенных Министерством здравоохранения Республики Беларусь. Для правильного функционирования желобов их верхние кромки должны быть строго горизонтальны и находиться на одной отметке. Дно желобов должно иметь уклон в сторону сборного канала.

а)



б)



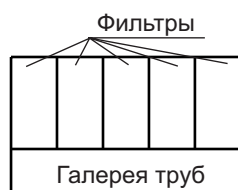
1 — оголовок скважины; 2 — скорый напорный фильтр;
3 — лоток для приема и отведения воды после промывки

Рисунок 6.11 — Компактная установка обезжелезивания воды:

а — разрез;

б — план

а)



б)

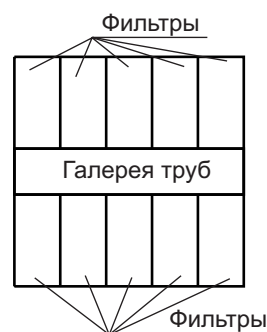
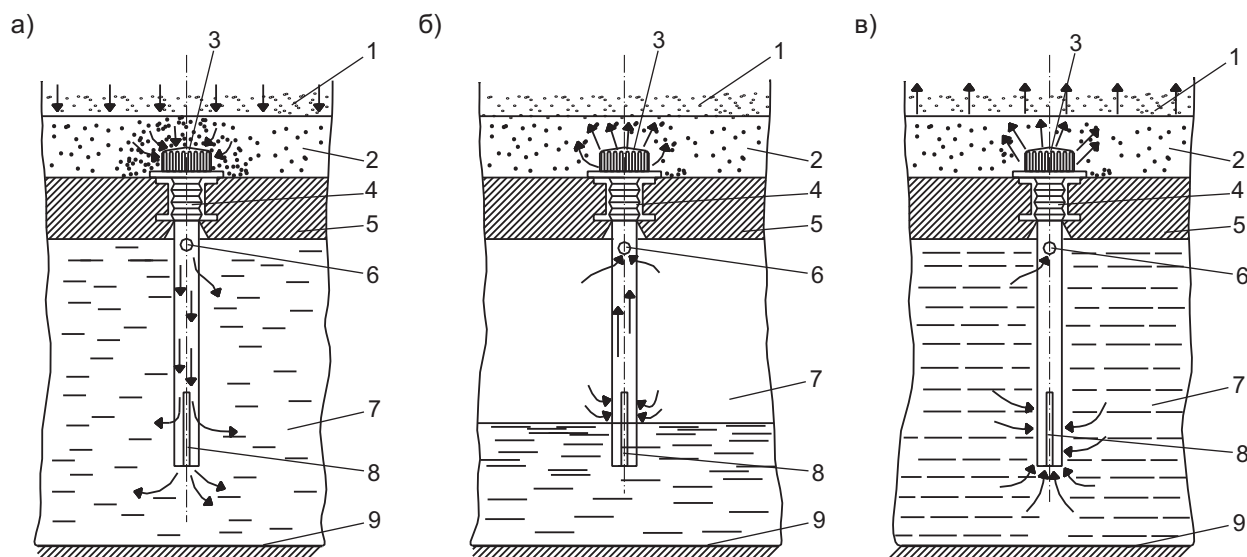


Рисунок 6.12 — Схемы расположения фильтров

6.2.9 Для сбора и отведения профильтрованной воды, а также подачи и распределения воды (или воды и сжатого воздуха) на промывку фильтра должна предусматриваться дренажная (распределительная) система, располагаемая в нижней части фильтра. Возможно использование различных видов дренажа: трубчатого, из дренажных плит с колпачками, из пористых плит, распределительных модулей и т. д.

6.2.10 При водяной промывке фильтров с трубчатым дренажем предусматривается распределительная система, состоящая из коллектора и ответвлений, располагаемых в зависимости от конструкции фильтра с одной или обеих сторон от коллектора. При водовоздушной промывке должны предусматриваться две системы: подачи воды и подачи воздуха, при этом воздушный дренаж располагается над водяным. Расчет дренажных систем при водяной и водовоздушной промывке, а также остальных элементов фильтра следует производить по ТКП 45-4.01-31 (раздел 8).

6.2.11 На дренажи из плит, представляющие собой ложные днища с вмонтированными в них колпачками (см. рисунок 6.13), возлагаются важные конструктивные функции — они несут на себе нагрузку от веса фильтрующего материала, воды и напора потока воды, устремленного сверху вниз в процессе фильтрования, а также подпора воды при обратной промывке фильтра. Все это предъявляет высокие требования к конструкции дренажа из плит, качеству материалов и производству работ. Невыполнение этих требований приводит к срыву плит, повреждению колпачков и в результате — к нарушению работы станции.

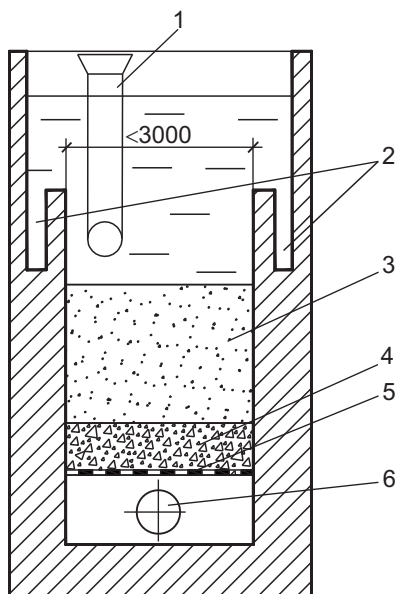


1 — фильтрующая загрузка; 2 — поддерживающий слой; 3 — колпачок; 4 — резьбовая муфта;
5 — плита ложного днища; 6, 8 — отверстия для воздуха;
7 — междудонное пространство; 9 — дно фильтра

Рисунок 6.13 — Колпачковый дренаж при разных режимах работы фильтра:

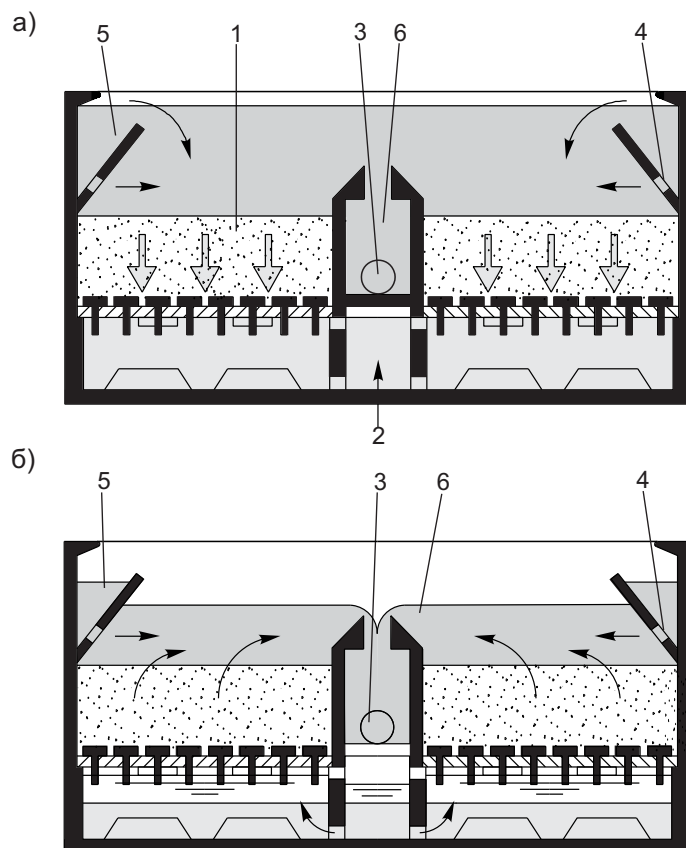
- а — режим фильтрования;**
- б — воздушная фаза промывки фильтра;**
- в — водяная фаза промывки фильтра**

6.2.12 В скорых фильтрах без желобов с горизонтальным отводом воды после промывки фильтров сбор и отведение промывных вод выполняют боковые (рисунок 6.14) или центральный (рисунок 6.15) каналы.



- 1 — подача воды на обезжелезивание; 2 — боковые каналы для отвода промывной воды;
 3 — фильтрующая загрузка; 4 — поддерживающий слой;
 5 — ложное днище из пористых полимербетонных плит;
 6 — трубопровод отвода фильтрата (подачи промывной воды)

Рисунок 6.14 — Фильтр с боковыми каналами для отвода воды после промывки



- 1 — фильтрующая загрузка; 2 — нижняя часть канала;
 3 — трубопровод отвода промывной воды; 4 — отверстие;
 5 — канал подачи исходной воды; 6 — отработанная промывная вода

Рисунок 6.15 — Фильтр с центральным каналом:

- а — продольный разрез фильтра в режиме фильтрования;
 б — поперечный разрез фильтра в режиме фильтрования

6.2.13 Технологические параметры водовоздушной промывки скорых фильтров следует принимать в соответствии с ТКП 45-4.01-31 (раздел 8).

6.2.14 Точные значения технологических параметров промывки фильтров устанавливают по результатам исследований, выполненных для конкретного источника водоснабжения, и уточняют при эксплуатации.

6.2.15 Для промывки многослойных фильтров следует применять водяную или последовательную водовоздушную промывку в два, три или четыре этапа (этап совместной подачи в загрузку воды и воздуха исключается во избежание выноса легких фильтрующих материалов из верхних слоев):

- воздух — вода;
- вода — воздух — вода;
- воздух — вода — воздух — вода.

Такой режим при хорошем качестве регенерации фильтрующей загрузки обеспечивает несмешиваемость слоев в процессе промывки. Скорости подачи воды или воздуха при промывке необходимо устанавливать в процессе технологических исследований для конкретных фильтрующих материалов.

6.2.16 В сухих фильтрах (однослойных или многослойных) используются те же режимы промывки, что и в обычных скорых фильтрах, в зависимости от типа применяемой загрузки.

6.2.17 Перед проведением промывки следует прекратить подачу очищаемой воды на фильтр и отводить фильтрат до достижения отметки уровня воды в фильтре на 10–15 см выше отметки верха фильтрующей загрузки, после чего начинать промывку.

6.2.18 Вода на промывку должна подаваться специальными промывными насосами, предусматриваемыми в насосной станции второго подъема, или из бака водонапорной башни, располагаемой на площадке станции обезжелезивания и предназначенной исключительно для обеспечения промывки фильтров. В зависимости от числа фильтров на станции промывные системы должны быть рассчитаны на промывку одного фильтра при их количестве на станции до 20 или двух фильтров одновременно — при большем количестве. Объем промывного бака должен обеспечивать одну дополнительную промывку сверх принятого их числа.

6.2.19 Насос для подачи воды в бак должен обеспечивать его наполнение за время не больше, чем интервалы между промывками фильтров при форсированном режиме. Забор воды насосом, подающим воду в бак, следует производить из резервуара фильтрованной воды. Допускается производить забор из трубопровода фильтрованной воды, если он не превышает 50 % расхода фильтрата.

6.2.20 При заборе воды на промывку насосами из резервуара чистой воды в нем следует предусматривать запас воды на одну дополнительную промывку сверх расчетного их числа.

Промывка должна осуществляться водой с качеством не ниже качества фильтрата.

Использование исходной воды для промывки фильтров допускается только при обосновании.

6.2.21 Напор воды на промывку фильтров следует принимать с учетом потерь напора в распределительной системе, подводящих коммуникациях промывной воды и в загрузке фильтров.

Потери напора в распределительной системе h , м, следует определять по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.5) и 7.6.10), потери напора в колпачках h_k , м, — по ТКП 45-4.01-31 (формула (7.3) и 8.1.14).

Потери напора в поддерживающем слое h_n , м, определяют по формуле

$$h_n = 0,08 H_n v_{np}, \quad (6.3)$$

где H_n — высота поддерживающих слоев, м;

v_{np} — скорость промывки, м/ч.

Потери напора в фильтрующей загрузке h_3 , м, определяют по формуле

$$h_3 = \left(\frac{\rho_3}{\rho_b} - 1 \right) \cdot (100 - m_0) \cdot H_3 \cdot 10^{-2}, \quad (6.4)$$

где ρ_3 — плотность загрузки, т/м³;

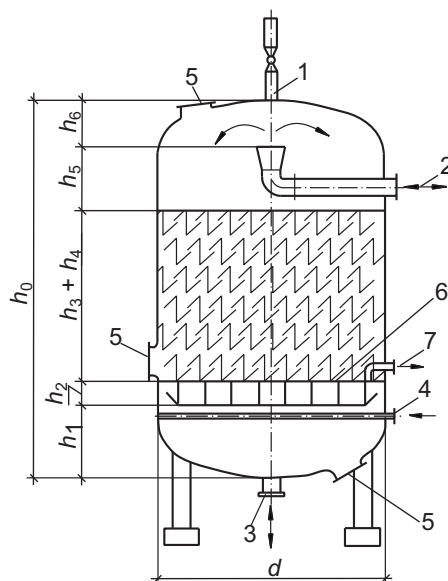
ρ_b — плотность воды, т/м³;

m_0 — пористость загрузки, %;

H_3 — высота слоя фильтрующей загрузки, м.

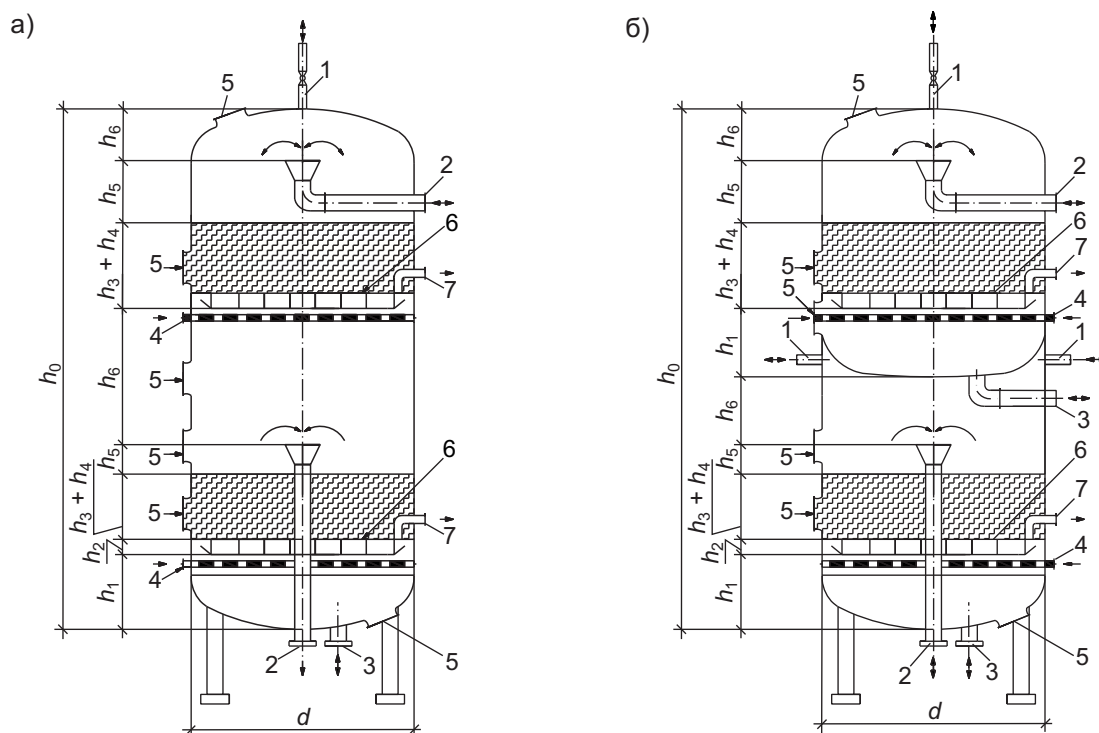
6.2.22 Скорости движения воды в трубопроводах, подающих и отводящих промывную воду, следует принимать от 1,5 до 2,0 м/с. Должна быть исключена возможность подсоса воздуха в трубопроводы, подающие промывную воду на фильтры, а также подпора воды в трубопроводах, отводящих промывную воду.

6.2.23 Закрытые (напорные) фильтры, работающие под давлением, также могут конструктивно различаться. На рисунке 6.16 приведен стандартный напорный скорый фильтр, на рисунке 6.17 — смонтированные в одном корпусе двухступенчатый (с последовательной работой ступеней) и двухкамерный (с параллельной работой камер) фильтры по [3].



- 1 — воздушник; 2 — подача сырой и отвод шламовой воды;
 3 — отвод фильтрата и подача воды на промывку; 4 — распределительная система подачи воздуха;
 5 — люк; 6 — ложное днище с колпачковым дренажем; 7 — отвод воздуха от дренажа (при необходимости)

Рисунок 6.16 — Напорный скорый фильтр



Примечание — Позиции 1–7, обозначения $h_1 - h_6$ (см. рисунок 6.16).

Рисунок 6.17 — Напорные двухсекционные скорые фильтры:
 а — с последовательной работой секций;
 б — с параллельной работой секций

Имеются также трехкамерные напорные фильтры, при этом одна из камер может использоваться в качестве резервной.

Загрузку и технологические параметры работы фильтров следует в основном принимать такими же, как и для открытых фильтров. Допускается увеличение скорости фильтрования до 20 м/ч (иногда выше) и высоты слоя загрузки до 3 м.

Как правило, напорные фильтры выполняют из металла, допускается использование других материалов для изготовления корпусов фильтров.

При расчете высоты фильтра следует исходить из следующих условий по [3]:

— h_1 (нижняя часть фильтра) ≥ 600 мм; в фильтрах с диаметром более 3000 мм должна быть обеспечена возможность доступа вовнутрь (подползания);

— $h_1 < 600$ мм; в фильтрах с диаметром менее 3000 мм во всех местах должна быть обеспечена просматриваемость и доступность рукой;

— h_2 — высота основания (толщины плит) ложного днища фильтра; определяют по статическому расчету;

— $h_3 < 400$ мм; высота поддерживающего слоя, если это требуется (зависит от конструкции колпачков и скорости промывки);

— h_4 = от 800 до 2500 мм (в особых случаях выше) — высота слоя фильтрующего материала;

— h_5 — свободный борт (запас высоты) — расстояние от поверхности фильтрующего материала до кромки устройства для отвода шламовой воды. Его рассчитывают таким образом, чтобы при выбранной скорости промывки исключалась возможность потерь фильтрующего материала, одновременно это расстояние должно быть не слишком большим, чтобы обеспечить быстрый отвод шламовой воды (после промывки);

— h_6 — расстояние от верхней кромки устройства для отвода шламовой воды до верха фильтра. Высота свободного пространства должна обеспечивать безупречное удаление воздуха. Размер h_6 необходимо выбирать таким образом, чтобы исключался вынос фильтрующего материала при промывке;

— $d \leq 5000$ мм — диаметр корпуса фильтра.

6.2.24 С целью увеличения площади фильтрования допускается применение горизонтальных напорных фильтров, которые конструктивно отличаются от вертикальных большей протяженностью распределительной (подачи исходной воды) и дренажной систем.

6.2.25 При положительных результатах технологических исследований допускается применение крупнозернистых фильтров как самостоятельных сооружений при одноступенчатом фильтровании, так и в качестве фильтров первой ступени при двухступенчатом фильтровании.

В качестве загрузки крупнозернистых фильтров следует применять кварцевый песок или другие материалы с размером фракций 2 мм и более, обеспечивающие технологический процесс, обладающие требуемой механической прочностью и химической стойкостью и разрешенные к применению Министерством здравоохранения Республики Беларусь. Характеристика загрузки крупнозернистых фильтров и их технологические параметры приведены в ТКП 45-4.01-31 (8.2).

6.2.26 При одновременном содержании железа и марганца в подземных водах с отрицательным индексом насыщения карбонатом кальция для обезжелезивания, обезмарганцевания, а также необходимости стабилизационной обработки воды следует предусматривать фильтрование через специальные щелочные загрузки, способные связывать свободную углекислоту. Щелочные фильтрующие материалы должны состоять из полуобожженного доломита или карбоната кальция (мрамора, известняка).

6.2.27 Технологические параметры фильтрования для загрузки из мраморной крошки диаметром зерен от 1,2 до 1,8 мм принимаются следующие:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| — скорость фильтрования | — от 5 до 25 м/ч; |
| — высота слоя загрузки | — от 1500 до 3000 мм; |
| — высота слоя воды над загрузкой | — от 400 до 650 мм. |

Водовоздушная промывка должна приниматься длительностью от 3 до 12 мин (при подаче воздуха со скоростью от 75 до 90 м/ч и воды со скоростью от 25 до 35 м/ч), окончательная водяная — от 4 до 20 мин со скоростью от 25 до 35 м/ч.

Установление точного углекислотного равновесия требует дополнительного введения в воду соответствующих реагентов по ТКП 45-4.01-31 (раздел 13).

Расход фильтрующего материала составляет 2,45 г на 1 м³ воды.

6.2.28 В соответствии с [4] рекомендуется применение полуобожженного доломита трех классов крупности зерен материала (таблица 6.4).

Таблица 6.4

Класс крупности	Диаметр зерен, мм
0	0,5–1,2
I	0,5–2,5
II	2,5–4,5

При использовании в качестве фильтрующего материала полуобожженного доломита для проектирования скорых фильтров рекомендуются следующие параметры: для открытых фильтров скорость фильтрования — от 5 до 15 м/ч, высота слоя фильтрующей загрузки — от 1000 до 2000 мм; для закрытых фильтров соответственно — от 10 до 30 м/ч и от 1500 до 3000 мм.

Водовоздушная промывка фильтрующего материала должна осуществляться в три фазы:

— подача воздуха в течение 5 мин со скоростью 60 м/ч;

— водовоздушная промывка в течение 10 мин со скоростью подачи воздуха 60 м/ч и скоростью подачи воды от 8 до 12 м/ч;

— подача воды в течение 3–20 мин со скоростью от 20 до 25 м/ч.

Расход полуобожженного доломита на связывание 1 мг/л свободной углекислоты составляет 1,3 г на м³ воды.

6.2.29 Щелочные материалы являются расходными, что вызывает необходимость их периодической догрузки в зависимости от уменьшения высоты фильтрующего слоя в процессе эксплуатации.

6.2.30 Фильтрация воды через щелочные материалы ведет к повышению ее pH, что вызывает необходимость контроля процесса с целью недопущения превышения pH_с во избежание выделения из воды карбоната кальция и образования его отложений в толще фильтрующей загрузки, а также на всех поверхностях, с которыми контактирует вода при своем движении.

6.2.31 Применение необожженного (сырого) доломита нежелательно, так как возможно его спекание (цементация) в процессе фильтрования, что снижает пропускную способность фильтров и затрудняет их промывку, делая ее недостаточно эффективной.

6.2.32 Использование щелочных материалов целесообразно при значениях pH воды не более 6,5 и щелочности менее 2 ммоль/л, но допустимо и при более высоких значениях указанных показателей при условии обеспечения значения pH фильтрата не выше pH_с.

6.2.33 Примеры расчета скорых фильтров приведены в приложении Б.

7 Обезмарганцевание подземных вод

7.1 Химическое окисление марганца в присутствии кислорода следует осуществлять при значениях pH > 7,6–7,8 и Eh > 650 мВ; при одновременном участии марганцеоксиляющих микроорганизмов процесс может успешно протекать при Eh > 250 мВ и pH ≥ 6,8 при условии, что pH фильтрата составляет не менее 6,5. Требуемое значение pH может быть достигнуто предварительной аэрацией/дегазацией, однако оно должно быть ниже значения pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция pH_с.

7.2 Минимальное содержание кислорода в фильтрате необходимо поддерживать около 1,5 мг/л, значительные колебания его концентрации недопустимы.

7.3 Допускается применение как открытых, так и закрытых фильтров с загрузкой из инертного материала (предпочтительно кварцевого песка) с крупностью зерен от 0,7–1,25 до 1–2 мм. Скорости фильтрования следует принимать от 5 до 20 м/ч.

7.4 При биологическом протекании процесса обезмарганцевания скорость фильтрования может быть выше — до 40 м/ч, иногда до 50 м/ч.

7.5 Двухступенчатое фильтрование может осуществляться как в закрытом, так и в открытом варианте, или по комбинированной схеме (см. рисунок 5.5).

7.6 Вработка фильтрующей загрузки при обезмарганцевании происходит значительно медленнее, чем при обезжелезивании, и может длиться до 6 мес. На зернах загрузки при этом образуется черная пленка из гидроксида марганца и продуктов жизнедеятельности марганцевых бактерий. В течение периода вработки следует поддерживать концентрацию кислорода на постоянном уровне. Для сокращения этого периода необходимо предусматривать специальные мероприятия по ТКП 45-4.01-31 (раздел 14).

7.7 При длительной эксплуатации происходит заметное увеличение размера зерен, вследствие чего после 10–20 лет эксплуатации следует заменять загрузку.

7.8 Прирост потерь напора в фильтрах деманганаии происходит медленно, поэтому промывку фильтров следует осуществлять вне зависимости от потерь напора, чтобы не допустить закупоривание загрузки продуктами жизнедеятельности микроорганизмов. Продолжительность фильтроцикла может составлять от одной до четырех недель, однако целесообразно промывать фильтры не реже 1 раза в неделю.

7.9 Рекомендуются водовоздушная промывка в щадящем режиме; использование воды, содержащей хлор или диоксид хлора, недопустимо.

7.10 При концентрации марганца не более 0,5 мг/л допускается использование одного фильтра для обезжелезивания и обезмарганцевания воды, но с большей высотой фильтрующего слоя, чтобы обеспечить задержание железа в верхних слоях фильтра, марганца — в нижних.

7.11 При невозможности удаления марганца фильтрованием через инертные загрузки следует применять щелочные, каталитические или модифицированные материалы либо использовать реагентные методы обработки воды (озонирование, введение перманганата калия, известь), в соответствии с результатами технологических исследований в полупроизводственных условиях.

7.12 Пример расчета установки водоподготовки для удаления железа и марганца приведен в приложении В.

8 Обезжелезивание и деманганаия воды в водоносном пласте

8.1 Технология обезжелезивания и деманганаии воды в водоносном пласте состоит в процессе обогащения воды кислородом и закачки в водоносный пласт, в котором происходят химические (за счет увеличения окислительно-восстановительного потенциала водоносного пласта — E_h до 200–600 мВ) и микробиологические процессы окисления и осаждения железа и марганца, после чего очищенная вода забирается и подается потребителю.

Вода из водозабора, водопровода или резервуаров обогащается кислородом воздуха с помощью специальной конструкции эжектора или компрессора, после чего закачивается в водоносный пласт через скважину и вытесняет вокруг нее подземную воду на величину закаченного объема воды, создавая тем самым зону окисления. В этой зоне вначале кислород O_2 вступает в реакцию с растворенным в подземной воде железом в двухвалентной форме и образует на породе водоносного пласта нерастворимые отложения гидроксида железа $Fe(OH)_3$, при этом увеличивается выделение углекислого газа CO_2 .

В период последующей откачки воды отложения гидроксида железа водоносного пласта адсорбируют ионы растворимого Fe^{+2} из неочищенной подземной воды до момента истощения его адсорбционного потенциала, после чего начинается рост содержания железа в воде.

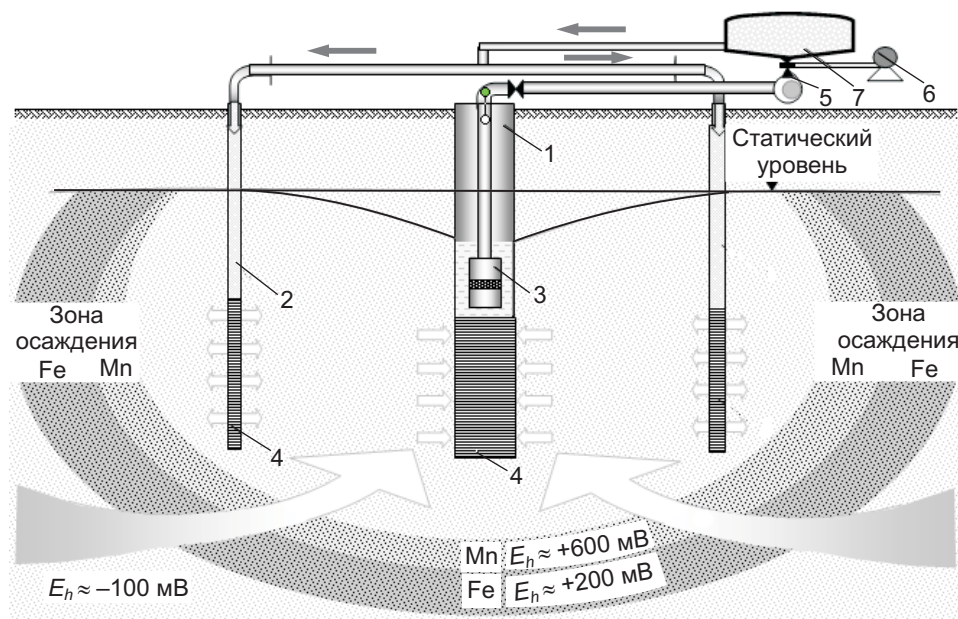
На следующем этапе закачки в водоносный пласт воды, содержащийся в ней кислород вступает в реакцию с адсорбированным Fe^{+2} , образуя новые отложения гидроксида железа и новый адсорбционный потенциал, при этом вокруг скважины возникает зона окисления и осаждения железа. Закачка в скважину воды, обогащенной кислородом воздуха, происходит в течение 20 ч (иногда более), и после 3–5 ч выдержки начинается откачка чистой воды благодаря тому, что подземная вода проходит через зону окисления и осаждения, где растворенное двухвалентное железо окисляется до трехвалентного и в виде гидроксида железа задерживается породами водоносного пласта.

Выделение гидроксидов железа и марганца на частицах пород водоносного пласта несколько снижают его проницаемость. Однако с каждой последующей закачкой обогащенной воды зона окисления отодвигается все дальше от водозаборной скважины, чем практически исключается кольматаж водоносного пласта.

Железобактерии (*Gallionella ferruginea*, *Leptotrix ochraceae*, *Crenotrix polyspora*), синтезируя органические вещества из неорганических для своей жизнедеятельности, получают энергию для обмена веществ от окисления железа. Для получения 1 мг синтезированного органического вещества железобактерии окисляют 279 мг Fe^{+2} , образуя при этом 534 мг гидроксида железа.

8.2 Для обезжелезивания и деманганации воды в водоносном пласте применяются различные технологические схемы — с раздельной и совмещенной системой нагнетания и забора подземных вод.

Характерным для основной схемы является наличие центральной водозаборной скважины и нескольких окружающих ее нагнетательных скважин для закачки азрированной воды (рисунок 8.1).



1 — водозаборная скважина; 2 — нагнетательная скважина; 3 — погружной насос; 4 — фильтр;
5 — водовоздушный смеситель; 6 — компрессор; 7 — бак-дегазатор

Рисунок 8.1 — Схема обезжелезивания и обезмарганцевания воды в пласте

При благоприятных гидрогеологических условиях и для забора, и для закачки воды эксплуатируемого водоносного пласта используется одна скважина, представленная на рисунке 8.2. Применение данной схемы обезжелезивания рекомендуется при содержании железа в подземной воде до 6 мг/л и марганца — до 0,5 мг/л.

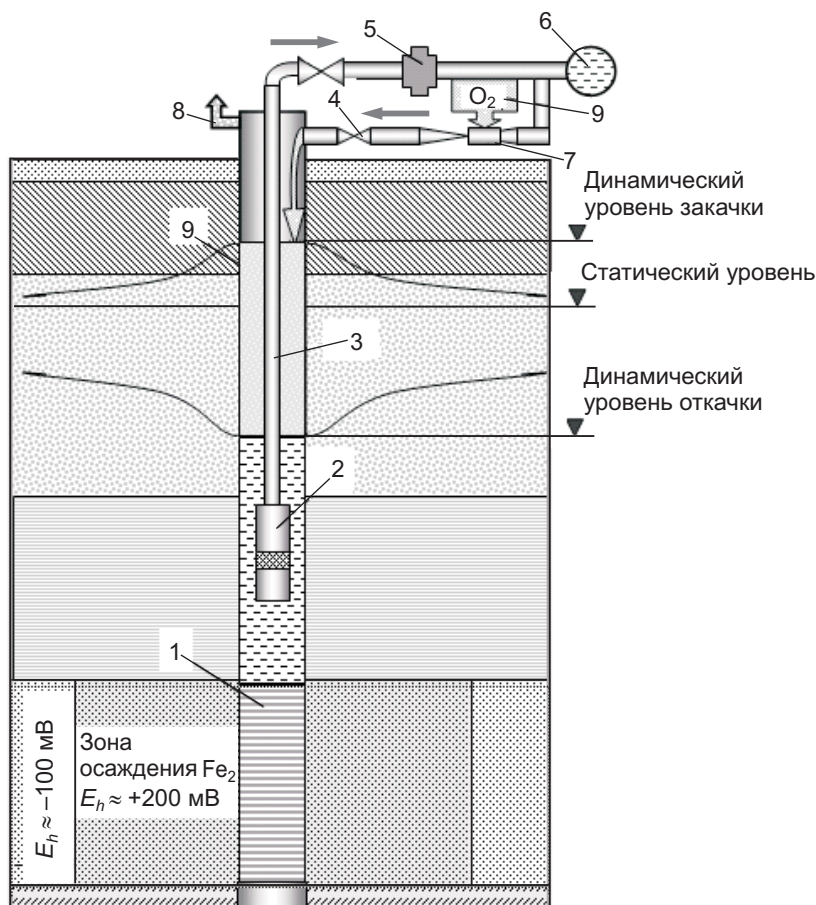
8.3 Проектирование системы обезжелезивания и деманганации воды в водоносном пласте необходимо осуществлять только после проведения предпроектных исследований (пробное обезжелезивание и деманганация) в процессе или после выполнения работ по детальной разведке месторождения подземных вод. Цель предпроектных исследований — определить технологическую схему и регламент установки обезжелезивания и деманганации в водоносном пласте.

8.4 Предпроектные исследования должны выполняться специализированными организациями и включать в себя следующие виды работ:

- предварительный выбор технологической схемы обезжелезивания и деманганации в пласте исходя из гидрогеологических и гидрохимических условий и определение места расположения;
- разработку проекта технологической оснастки опытной установки, методики и программы проведения опытно-технологических работ;
- изготовление и монтаж необходимого оборудования скважин;
- проведение лабораторных и полевых опытно-технологических работ по исследованию динамики и качества подземных вод по физическим, химическим и микробиологическим показателям;
- обработку результатов опытно-технологических исследований и определение необходимых данных для проектирования установок.

8.5 Основными технологическими параметрами установок обезжелезивания в водоносном пласте являются соответственно расход Q_3 и время t_3 закачки, расход Q_0 и время t_0 откачки, обеспечивающие очистку воды до нормативных требований и с требуемой производительностью водозабора $Q_{тр}$.

На водозаборе должен быть предусмотрен 20 %-ный резерв водозаборных скважин, которые обеспечат необходимый расход закачки, что не потребует строительства дополнительных скважин.



1 — фильтр; 2 — погружной насос; 3 — водоподъемная колонна труб; 4 — задвижка;
5 — водомер; 6 — напорный трубопровод; 7 — водовоздушный смеситель (эжектор);
8 — клапан для выпуска воздуха; 9 — обсадная труба

Рисунок 8.2 — Принципиальная схема обезжелезивания воды в водоносном пласте с совмещенной системой нагнетания и забора подземных вод

8.6 Выбор схемы водозабора, расчет количества и дебитов скважин следует осуществлять в соответствии с требованиями ТКП 45-4.01-30. При этом объем закачки в среднем принимается равным суточному дебиту скважины.

8.7 Исходя из конструктивных особенностей скважины и ее параметров (удельного дебита, положения статического уровня, гидравлических характеристик водоприемной части скважины), а также наличия избыточного давления на устье скважины, необходимого для задавливания воды в пласт, определяется максимально возможный расход закачки, который может быть $Q_3 < Q_i$.

8.8 Для скважинных водозаборов подземных вод, состоящих из n -скважин ($n > 2$), за период откачки очищенной воды из одной скважины в остальных скважинах должна быть проведена закачка, обогащенной кислородом воды, т. е.

$$t_3 = \frac{t_o}{n-1}. \quad (8.1)$$

Для одиночных скважин, подающих воду непосредственно в водопроводную сеть, время закачки t_3 определяется, исходя из наличия резерва мощностей и запасно-регулирующих емкостей, а также создания необходимых размеров зоны осаждения железа.

8.9 Определение этих данных, находящихся в прямой зависимости от характеристик воды (физических, химических и микробиологических) и водоносного пласта (геологических, фильтрационных, геохимических и др.), в основе расчета которых лежат параметры кинетики адсорбции кислорода породой пласта (зарядка) и кинетики окисления двухвалентного железа, представляет определенные трудности, связанные с необходимостью проведения предварительных исследований (пробного обезжелезивания) непосредственно на водозаборных скважинах.

8.10 Особенность работы скважины при обезжелезивании в пласте заключается в том, что фильтр ее в режимах откачки и закачки работает в двух направлениях потока. С целью достижения оптимального эффекта обогащения водоносного пласта кислородом конструкция скважины должна быть такой, чтобы сопротивление фильтра и прифильтровой зоны было минимальным и скорости притока по длине фильтра были одинаковыми. Для этого в прифильтровой зоне должен быть сформирован гравийно-песчаный фильтр с $D_0 \geq 2D_{\text{ф}}$.

Вскрытие водоносного пласта при бурении скважин целесообразно осуществлять методом обратной промывки.

Фильтры и обсадные трубы должны иметь антикоррозионное покрытие или их необходимо изготавливать из некоррозионных материалов.

8.11 Установка обезжелезивания воды в водоносном пласте может считаться эффективной, если объем откачиваемой воды превышает объем закачиваемой в 2–6 раз.

8.12 Расчет ожидаемой продолжительности эксплуатации водозабора с подземным обезжелезиванием приведен в приложении Г.

9 Реагентные методы обезжелезивания подземных вод

9.1 Описанные выше фильтры являются главными, но не единственными сооружениями, применяемыми в обезжелезивании воды. Как следует из таблицы А.1 (приложение А), чаще всего фильтрам предшествуют аэраторы, в которых происходит удаление CO_2 и окисление железа от двух- до трехвалентного. Из таблицы А.1 (приложение А) следует также, что при определенных условиях фильтрованию должно предшествовать предварительное удаление железа с помощью реагентов. Это вызывает необходимость применения сооружений реагентного хозяйства для приготовления и дозирования реагентов, а также контактных камер или отстойников для осаждения хлопьев гидроксида железа. Проектирование и строительство подобных сооружений аналогично проектированию и строительству сооружений водоподготовки поверхностных вод.

9.2 В качестве реагентов при обезжелезивании воды наиболее часто применяется известь в виде известкового молока для увеличения pH воды, коагулянт — сульфат алюминия — для коагуляции трудно-окисляемых органических соединений железа, а также окислители — озон, перманганат калия, — обеспечивающие ускорение процесса окисления двухвалентного железа (марганца).

9.3 Отстойники, используемые для предварительного обезжелезивания воды, частично выполняют функции камер реакции, в которых завершается окисление двухвалентного железа с образованием в результате гидролиза гидроксида трехвалентного железа с постепенным выпадением его в осадок. В отстойнике выпадают в осадок также карбонаты и сульфаты кальция (при обработке воды известью), гидроксид алюминия (при обработке воды коагулянтом) или другие соединения в зависимости от вида применяемого реагента и химического состава обрабатываемой воды. Эти отстойники должны рассчитываться на продолжительность отстаивания в течение часа. Для лучшего использования отстойника при необходимости устраиваются перегородки, обеспечивающие изменение направления при движении воды и лучшее ее перемешивание. Более высокий эффект выделения хлопьев гидроксидов железа и марганца достигается применением встроенных в отстойник тонкослойных модулей.

Контактные резервуары (камеры) предназначены для завершения процесса окисления железа (марганца), рассчитываются на время пребывания воды в них в течение 30–40 мин, предусматриваются непосредственно перед фильтрами.

9.4 Состав сооружений и параметры их работы должны быть установлены в результате технологических исследований по эффективности удаления железа и марганца с применением реагентов и могут существенно различаться в зависимости от особенностей качества воды.

9.5 Одним из вариантов набора сооружений при реагентной обработке подземных вод является схема, приведенная на рисунке 9.1, для обезжелезивания, обезмарганцевания и деаммонизации воды с использованием двух ступеней фильтрования (первая ступень — сухая фильтрация), двух ступеней аэрации и предварительной обработки перманганатом калия.

При невысоких концентрациях аммонийных соединений в данной схеме вместо сухих фильтров могут использоваться обычные скорые фильтры.



Рисунок 9.1 — Схема сооружений обезжелезивания, обезмарганцевания и деаммонизации воды

9.6 Дополнительным оборудованием станций обезжелезивания и обезмарганцевания воды могут быть устройства для реализации искусственного катализирования (модификации) поверхности зерен фильтрующей загрузки.

При использовании модифицированных загрузок заводского изготовления в большинстве случаев требуется периодическое восстановление сработанной каталитической пленки растворами перманганата калия, для чего также необходимы специальные сооружения.

9.7 В состав сооружений для модификации фильтрующих загрузок следует включать один или два бака для приготовления соответствующих растворов с насосом для подачи растворов на фильтры, склады реагентов и баки для обезвреживания отработанных растворов.

Эти сооружения работают периодически: первый раз — в процессе наладки сооружений станции, затем — по необходимости, для восстановления каталитической пленки в зависимости от принятого способа обработки.

9.8 Способы модификации фильтрующих загрузок для обезжелезивания и обезмарганцевания воды, применяемые реагенты и концентрации их растворов приведены в таблице 9.1.

9.9 Примеры расчета сооружений реагентного хозяйства приведены в приложении Д.

Таблица 9.1

Фильтрующий материал	Каталитическая пленка	Способ получения пленки
Кварцевый песок	Оксиды марганца	24-часовой контакт фильтрующего материала с 0,5 %-ным раствором KMnO_4 , подщелоченным аммиаком до pH 9
Кварцевый песок	Оксиды железа и марганца	Последовательно: 1) 2-часовой контакт с 0,7 %-ным раствором $\text{Fe-SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2) 3–5-часовой контакт в 0,1 %-ном растворе KMnO_4

Окончание таблицы 9.1

Фильтрующий материал	Каталитическая пленка	Способ получения пленки
Кварцевый песок	Оксиды железа	Последовательно: 1) 0,5-часовой контакт с 0,1 %-ным раствором $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2) фильтрование 0,1 %-ного раствора Cl_2 со скоростью 2–3 м/ч, время контакта — до удаления предыдущего раствора (минимально 8–10 мин)
Сульфуголь	Оксиды марганца	Последовательно: 1) статический контакт с 10 %-ным раствором MnCl_2 ; 2) фильтрование 1 %-ного раствора KMnO_4
Кварцевый песок	Оксиды марганца	Последовательно: 1) 24-часовой контакт с 3 %-ным раствором MnCl_2 или MnSO_4 ; 2) фильтрация 0,05 %-ного раствора KMnO_4 , подкисленного серной кислотой до pH 6,5 со скоростью 5 м/ч до выравнивания концентрации на входе и на выходе 3) 24-часовой контакт с предыдущим раствором

10 Обработка промывных вод и осадка станций обезжелезивания подземных вод

10.1 Общие положения

10.1.1 Проект обработки промывных вод и осадка должен разрабатываться одновременно с проектом станции водоподготовки.

10.1.2 В соответствии с ТКП 45-4.01-31 при производительности станций водоподготовки более 5000 м³/сут необходимо предусматривать повторное использование промывных вод фильтров, что вызывает необходимость их предварительной обработки.

При обосновании допускается сброс промывных вод в водотоки или водоемы при соблюдении требований [2] или на канализационные очистные сооружения.

10.1.3 Обработка воды после промывки фильтров может осуществляться различными способами — отстаиванием, фильтрованием, флотацией, мембранным фильтрованием, отстаиванием с предварительным введением полимерных коагулянтов в малых дозах.

10.1.4 На станциях обезжелезивания воды фильтрованием промывные воды фильтровальных сооружений целесообразно отстаивать.

Осветленную воду следует равномерно перекачивать в трубопроводы подачи исходной воды на станцию (в голову сооружений).

10.1.5 Осадок от всех отстойных сооружений и реагентного хозяйства следует направлять на обезвоживание и складирование.

10.1.6 В технологических схемах обработки промывных вод и осадка должны предусматриваться следующие основные сооружения:

- отстойники промывных вод;
- накопители или площадки замораживания и подсушивания осадка.

При обосновании допускается применение методов механического обезвоживания осадка.

10.2 Отстойники промывных вод

10.2.1 Отстойники промывных вод следует предусматривать для приема периодически поступающих промывных вод, отстаивания с последующим равномерным перекачиванием осветленной воды в трубопроводы перед фильтрами, или в водотоки, или на канализационные очистные сооружения.

Накопившийся осадок следует направлять на сооружения обезвоживания осадка.

10.2.2 Длительность рабочего цикла отстойников промывных вод определяется режимом подачи промывных вод, продолжительностью их отстаивания, длительностью перекачивания осветленной воды и уплотненного осадка.

Продолжительность отстаивания промывных вод станций обезжелезивания следует принимать по результатам технологических исследований, но не менее 6 ч.

10.2.3 Вместимость отстойника промывных вод следует принимать на 20 % больше объема воды от одной промывки фильтра с учетом дополнительного объема зоны накопления осадка.

10.2.4 При определении зоны накопления осадка в отстойнике промывных вод общую длительность накопления осадка (интервал между выпусками осадка из отстойников промывных вод при многократном периодическом наполнении отстойника) следует принимать не менее 8–12 ч. Расчетную влажность осадка в отстойнике следует принимать: 99 % — для станций реагентного обезжелезивания и 96,5 % — для станций безреагентного обезжелезивания, $\rho = 1,01 \text{ т/м}^3$.

10.2.5 Подача осветленной промывной воды в голову сооружений на станциях безреагентного обезжелезивания должна осуществляться с учетом содержания железа в осветленной воде, которое после 6 (минимальная продолжительность отстаивания), 8 и 12 ч отстаивания составляет в среднем от 15 до 25 мг/л, от 8 до 12 мг/л и от 3 до 6 мг/л соответственно (обязательно уточняется при проведении технологического исследования на конкретной воде), и не должна превышать 5 % от расхода подаваемой на обезжелезивание воды.

10.3 Сооружения по обработке осадка

10.3.1 Накопители

10.3.1.1 Накопители следует предусматривать для обезвоживания и складирования осадка при многолетнем его уплотнении с удалением выделившейся осветленной воды. В качестве накопителей следует использовать овраги, отработанные карьеры или обвалованные грунтом спланированные площадки на естественном основании глубиной не менее 2 м. Расчетный период подачи осадка в накопитель следует принимать не менее 5 лет.

10.3.1.2 Предпочтительно устройство накопителей на хорошо фильтрующих грунтах со сбором и удалением профильтрованной воды. При наличии в осадке токсичных веществ в накопителях следует предусматривать устройство противотрационного экрана.

Очистку накопителя от осадка, как правило, не предусматривают. Очистка накопителя с последующим вывозом осадка или обвалованием накопителя осадком допускается при устройстве накопителя на хорошо фильтрующих грунтах при уровне грунтовых вод ниже дна накопителя не менее чем на 1,5 м через 3–10 лет после завершения срока эксплуатации накопителя.

10.3.1.3 Число секций накопителей должно быть не менее двух. Это позволяет ускорить процесс уплотнения осадка за счет изменения водоотдающей способности части осадка при его частичном сезонном замораживании и подсушивании. Секции накопителя работают попеременно по годам, при этом подачу осадка следует предусматривать в одну секцию в течение года с непрерывным удалением осветленной воды. В остальных секциях будет происходить обезвоживание и уплотнение ранее поданного осадка с замораживанием в зимний период и подсушиванием в летний период с удалением воды, выделившейся при уплотнении осадка.

10.3.1.4 Общую вместимость накопителя $W_{\text{нак}}$, м^3 , следует определять по формулам: при постоянной подаче осадка

$$W_{\text{нак}} = 0,876qC_{\text{в}} \cdot \left(\frac{1}{(100 - P_1) \cdot \rho_1} + \frac{1}{(100 - P_2) \cdot \rho_2} + \dots + \frac{1}{(100 - P_{n-1}) \cdot \rho_{n-1}} + \frac{1}{(100 - P_n) \cdot \rho_n} \right); \quad (10.1)$$

или

$$W_{\text{нак}} = 10^{-4} \cdot QT_n C_{\text{в}} \cdot \left(\frac{1}{(100 - P_1) \cdot \rho_1} + \frac{1}{(100 - P_2) \cdot \rho_2} + \dots + \frac{1}{(100 - P_{n-1}) \cdot \rho_{n-1}} + \frac{1}{(100 - P_n) \cdot \rho_n} \right), \quad (10.2)$$

где q, Q — расчетный расход воды станции водоподготовки, м³/ч и м³/сут соответственно;

T_n — длительность подачи осадка в году, сут;

C_b — содержание взвешенных веществ (условно) в пересчете на гидроксид железа, мг/л (г/м³);

P_1, P_2, P_{n-1}, P_n и ρ_1, ρ_2, ρ_n — средние значения влажности и плотности осадка первого, второго и $(n - 1)$ года эксплуатации, принимаемые по таблице 10.1, а P_n и ρ_n — по таблице 10.2 для средней длительности уплотнения осадка T_y в расчетном году или в характерный период года. Например, для $T_n = 10$ лет, T_y первого года подачи осадка в накопитель равно 9,5 лет, T_y десятого года — 0,5 годам (таблица 10.1).

10.3.1.5 Накопитель, как правило, следует рассчитывать на постоянный сброс осветленной воды, в том числе в зимний период под слоем льда. В этом случае C_b n -ного года, P_n и ρ_n в формулах являются среднегодовыми показателями.

Таблица 10.1

Способ обезжелезивания воды	Длительность уплотнения осадка T_y , год, при средней влажности P , %, и плотности осадка ρ , т/м ³															
	$T_y = 1$		$T_y = 2$		$T_y = 3$		$T_y = 4$		$T_y = 5$		$T_y = 6$		$T_y = 8$		$T_y = 10$	
	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ
С реагентами	90,5	1,06	87,5	1,10	83,0	1,12	81,5	1,14	80,0	1,15	79,0	1,16	78,0	1,17	77,0	1,17
Без реагентов	80,0	1,17	74,0	1,19	72,0	1,22	71,0	1,23	70,0	1,24	69,0	1,24	69,0	1,24	69,0	1,24

Таблица 10.2

Способ обезжелезивания воды	Длительность уплотнения осадка T_y , мес., при средней влажности P , %, и плотности осадка ρ , т/м ³													
	$T_y = 1$		$T_y = 2$		$T_y = 4$		$T_y = 6$		$T_y = 8$		$T_y = 10$		$T_y = 12$	
	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ
С реагентами	97,0	1,02	95,8	1,03	94,7	1,04	93,8	1,05	93,0	1,05	92,2	1,06	91,5	1,06
Без реагентов	92,5	1,06	90,0	1,07	87,5	1,09	85,0	1,11	83,0	1,12	81,0	1,14	80,0	1,15

10.3.1.6 Накопители следует оборудовать устройствами для подачи осадка и отвода выделившейся при уплотнении осадка воды. Устройства для подачи осадка и отвода воды следует располагать на противоположных сторонах накопителя. Расстояние между устройствами для подачи осадка, а также между устройствами для отвода воды следует принимать не более 60 м. Конструкция устройств для отвода воды должна обеспечивать ее отвод с любого уровня по глубине накопителя.

10.3.1.7 На станциях производительностью до 5000 м³/сут допускается совмещать накопитель осадка с отстойником промывной воды. В этом случае объем накопителя увеличивается на объем промывной воды за период намораживания с учетом сброса осветленной воды из-под слоя льда.

10.3.1.8 Конструкцию устройства для напуска осадка и отвода осветленной воды следует принимать по схемам, приведенным на рисунках 10.1 – 10.4.

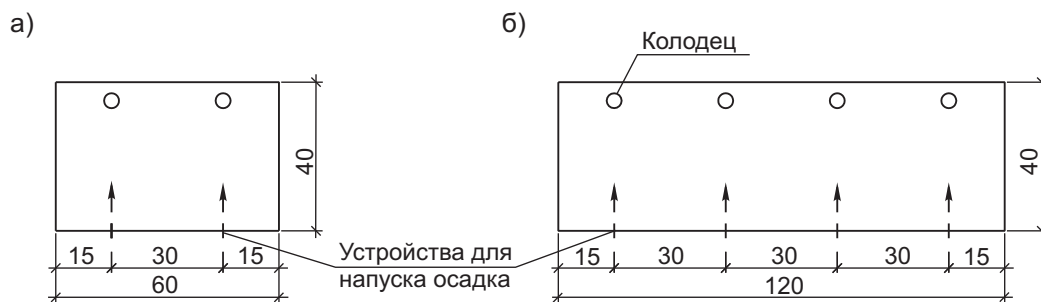


Рисунок 10.1 — Конструктивные схемы площадок для обезвоживания осадка

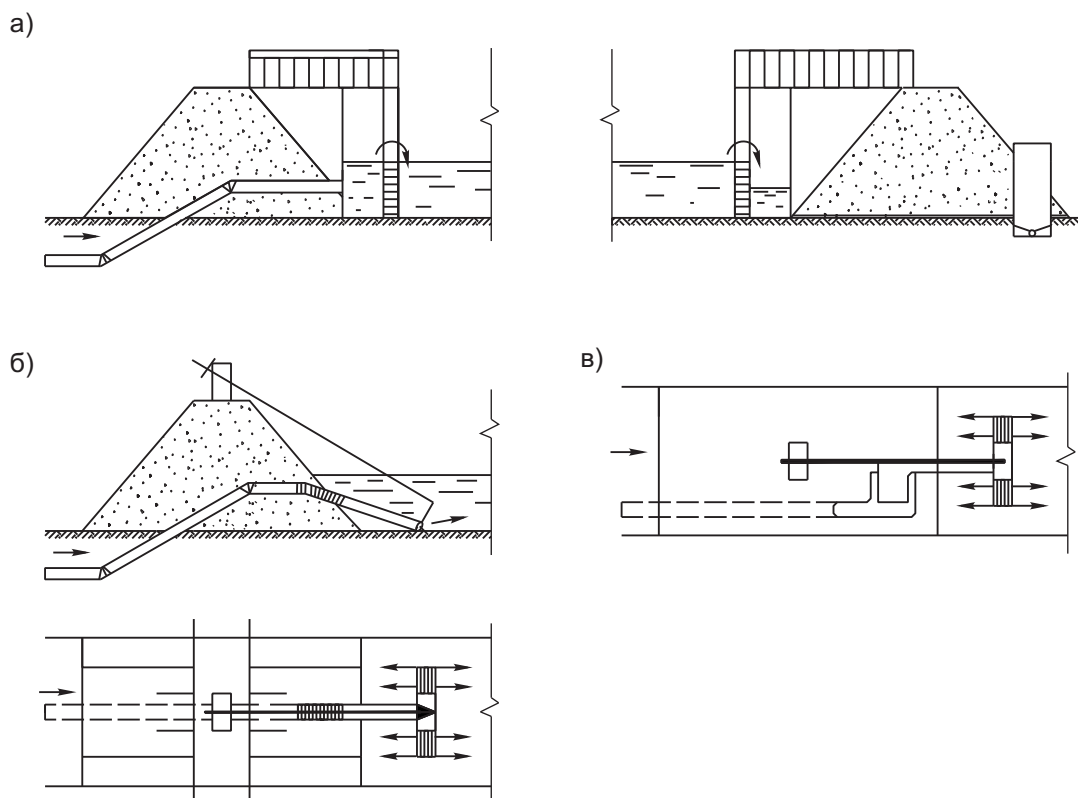


Рисунок 10.2 — Устройства для напуска осадка и отвода осветленной воды:

а — колодцы;

б — подъемный поперечный лоток на гибком рукаве;

в — подъемный поперечный лоток на шарнире

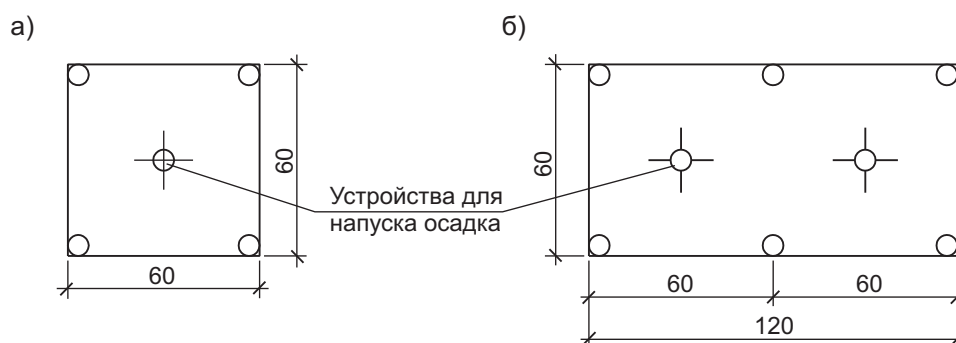


Рисунок 10.3 — Конструктивные схемы площадок для обезвоживания с центральной каскадной подачей осадка

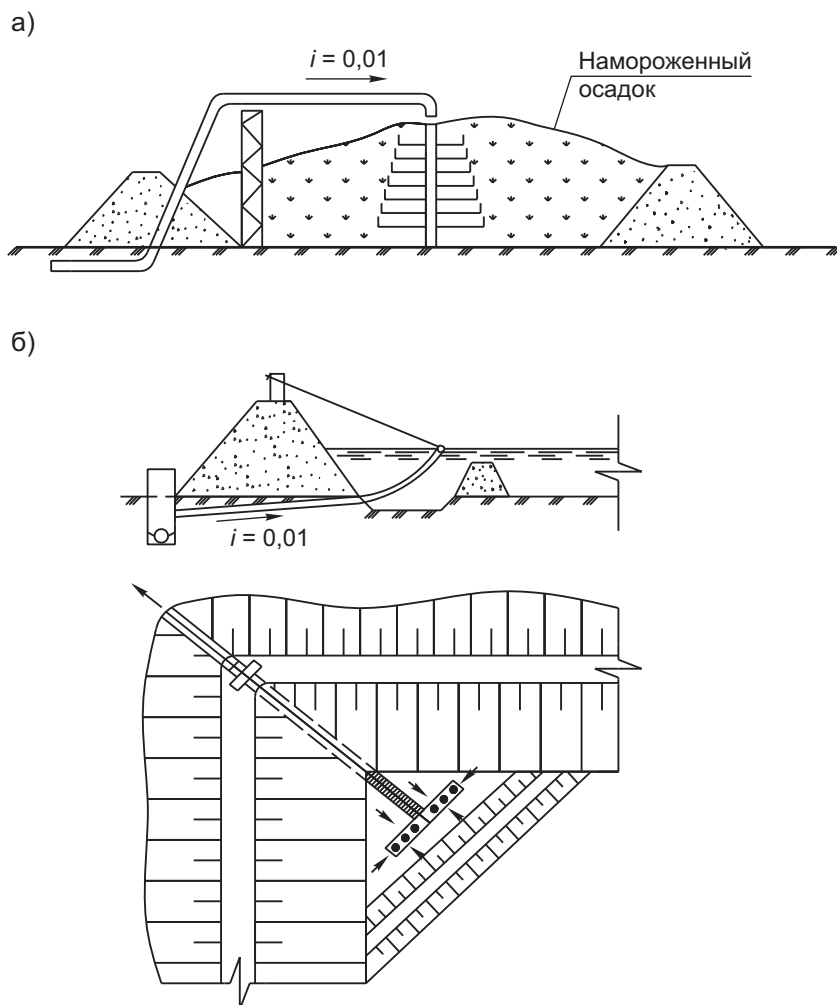


Рисунок 10.4 — Площадки для обезвоживания с центральной каскадной подачей осадка:
а — устройства для напуска осадка в виде центральной тарельчатой колонны;
б — устройства для отвода воды

10.3.2 Площадки замораживания

10.3.2.1 Площадки замораживания следует предусматривать для интенсификации обезвоживания осадка в естественных условиях за счет резкого увеличения водоотдачи после полного замораживания и оттаивания осадка.

Площадки замораживания следует применять в районах с периодом устойчивой среднесуточной отрицательной температуры воздуха не менее 2 мес. в году, рассчитывать на очистку от осадка через 1–3 года и вывоз его на площадки складирования.

Площадки замораживания следует выполнять преимущественно в виде земляных сооружений, имеющих спланированное грунтовое основание, обвалованных грунтом, с устройством для напуска осадка и отвода выделившейся осветленной воды.

Допускается устройство площадок замораживания с твердым основанием с дренажной системой. Глубина площадок замораживания определяется глубиной промерзания осадка в зимний период.

10.3.2.2 Площадки замораживания следует проектировать при условии залегания грунтовых вод на глубине не менее 1,5 м от основания площадок.

Для использования дополнительного фактора обезвоживания осадков — незначительного фильтрования через основание и ограждающее обвалование площадок целесообразно устраивать площадки на хорошо фильтрующих грунтах.

Для предотвращения подтапливания площадок талой водой, сбора и отвода воды, фильтрующей через грунтовое основание площадок, необходимо предусматривать устройство водоотводных каналов или дренажных устройств вдоль фронта площадок.

10.3.2.3 Площадки замораживания условно подразделяют на летне-осенние, зимние, весенние.

В период положительной и неустойчивой отрицательной среднесуточной температуры воздуха осадок от станции обезжелезивания следует направлять на весенние и летне-осенние площадки для уплотнения и удаления выделившейся из осадка осветленной воды. Напуск осадка на площадки следует заканчивать с наступлением периода устойчивой отрицательной температуры. Общий слой уплотненного осадка не должен превышать глубины полного промерзания осадка в зимний период.

В период устойчивой отрицательной температуры осадок для ускорения замораживания следует подавать на зимние площадки тонкими слоями толщиной, рассчитываемой в соответствии с СНБ 2.04.02.

10.3.2.4 Конструктивные схемы и размеры площадок следует принимать в соответствии с рисунками 10.1 – 10.4, принимая расстояние между устройствами для напуска осадка и отвода осветленной воды равным 40 м, а расстояние между устройствами — соответственно 30 м (см. рисунки 10.1, 10.2) и 60 м (см. рисунки 10.3, 10.4).

Лоток с напуском и спускной колодец с шибером необходимо размещать на диаметрально противоположных сторонах.

10.3.2.5 Распределение осадка между площадками следует осуществлять трубопроводами диаметром не менее 150 мм, отведение осветленной воды с площадок — самотечными трубопроводами с уклоном не менее 0,01.

Для надежной эксплуатации трубопроводов необходимо предусматривать их промывку, а также соответствующее утепление или заглубление в грунт. Для устранения случайных засорений следует устанавливать ревизии.

Запорную арматуру (затворы или поворотные затворы) на трубопроводах следует размещать в утепленных, незатапливаемых водой колодцах с выносом колонок управления арматурой на поверхность.

10.3.2.6 Устройства для подачи осадка на площадки должны обеспечивать равномерное его распределение по площадкам без размывания или слоя замерзшего осадка. В связи с возможностью образования в зимнее время прослойки воздуха между слоем льда и осадка, а также выпадением снега на поверхность льда резко уменьшается скорость замораживания осадка. Конструкция устройств должна обеспечивать возможность напуска осадка в зимнее время как под слой льда для вытеснения воздуха через шурфы в слое льда, так и на поверхность льда тонким слоем для замачивания и последующего замораживания мокрого снега.

Примерами решения такой конструкции являются устройства в виде колодцев с изменяющимся по высоте водосливом (см. рисунки 10.1 и 10.2 б) и на шарнире (см. рисунок 10.2 в).

Размещение устройств напуска осадка в центре модуля площадки (см. рисунки 10.3, 10.4) имеет технико-экономические преимущества перед размещением этих устройств по длинной стороне площадки (см. рисунки 10.1, 10.2), а центральный каскадный напуск осадка на зимние площадки (см. рисунки 10.3, 10.4) позволяет улучшить условия послойного замораживания осадка и уменьшить высоту обвалования площадки.

Трубопровод верхней подачи осадка в центр площадки следует выполнять с уклоном к рассекателю осадка, предназначенному для разбрызгивания осадка и предотвращения размывания дна площадки.

10.3.2.7 Устройства для отведения воды с площадок должны обеспечивать возможно более полное удаление осветленной воды, выделившейся при уплотнении осадка, и атмосферной воды. На рисунках 10.1 – 10.4 приведены параметры конструктивных решений устройств для отвода воды с разного уровня: колодцы и устройство в виде подъемной поперечной перфорированной трубы на гибком рукаве, заглубленное относительно основания площадки на 0,5 м и огражденное щебеночной отсыпкой высотой 0,5 м.

10.3.2.8 Расчет площадок замораживания следует начинать с анализа климатических условий района их размещения. Год условно следует разделить на три характерных периода: весенний, летне-осенний, зимний, определив их длительность.

За зимний период принимают период устойчивых отрицательных среднесуточных температур (период устойчивого мороза), для которого определяют среднесуточную температуру каждого месяца.

Расчетные данные необходимо принимать по СНБ 2.04.02.

Длительность весеннего периода следует принимать от завершения периода устойчивого мороза до наступления периода положительной температуры (спустя 1 мес. после наступления среднесуточной температуры воздуха выше 0 °С — для районов с периодом устойчивого мороза менее 3 мес. и спустя 2 мес. — для районов с периодом устойчивого мороза более 3 мес.).

Длительность летне-осеннего периода следует принимать как разность между продолжительностью календарного года (365 дней) и общей длительностью зимнего и весеннего периодов.

10.3.2.9 Общую полезную площадь площадок замораживания A , м^2 , определяют по формуле

$$A = A_{\text{в}} + A_{\text{л-о}} + A_3, \quad (10.3)$$

где $A_{\text{в}}$, $A_{\text{л-о}}$, A_3 — площадь площадок, м^2 , определяемая по зеркалу осадка при заполнении площадок наполовину глубины соответственно для весеннего, летне-осеннего и зимнего напусков осадка.

10.3.2.10 Объем осадка, подвергаемого замораживанию на весенних или летне-осенних площадках $W_{\text{в,л-о}}$, м^3 , необходимо рассчитывать с учетом его уплотнения на площадках и удаления выделившейся при уплотнении осадка воды по формуле

$$W_{\text{в,л-о}} = \frac{QT_{\text{в,л-о}}C_{\text{в,л-о}}}{10^4 \cdot (100 - P_{\text{в,л-о}}) \cdot \rho_{\text{в,л-о}}}, \quad (10.4)$$

где Q — расчетный расход воды на станции обезжелезивания, $\text{м}^3/\text{сут}$;
 $T_{\text{в,л-о}}$ — длительность весеннего или летне-осеннего периода, сут (см. 10.3.2.8);
 $C_{\text{в,л-о}}$ — см. формулы (10.1) и (10.2);
 $P_{\text{в,л-о}}$ и $\rho_{\text{в,л-о}}$ — средняя влажность, %, и плотность, $\text{т}/\text{м}^3$, осадка, определяемые по таблице 10.2 в зависимости от длительности уплотнения осадка T_y , мес., принимаемой от середины весеннего или летне-осеннего периодов до наступления периода устойчивого мороза.

10.3.2.11 Полезную площадь A , м^2 , весенних или летне-осенних площадок определяют по формуле

$$A_{\text{в,л-о}} = \frac{W_{\text{в,л-о}}}{H_{\text{в,л-о}}}, \quad (10.5)$$

где $H_{\text{в,л-о}}$ — слой осадка на площадке перед замораживанием, м, равный глубине промерзания осадка в период устойчивого мороза; определяют по формуле

$$H_{\text{в,л-о}} = 0,017 \cdot \sqrt{\sum t}, \quad (10.6)$$

здесь $\sum t$ — сумма абсолютных значений отрицательных среднесуточных температур воздуха за период устойчивого мороза, $^{\circ}\text{C}$, принимаемая по СНБ 2.04.02.

10.3.2.12 Объем осадка, подвергаемого замораживанию на зимней площадке, W_3 , м^3 , рассчитывают из условия размещения всего осадка, поступившего в период устойчивого мороза, без учета уплотнения осадка на площадке по формуле

$$W_3 = \frac{QT_3C_3}{10^4 \cdot (100 - P_3) \cdot \rho_3}, \quad (10.7)$$

где $C_3 = C_{\text{в,л-о}}$ — см. формулы (10.1) и (10.2);
 T_3 — длительность зимнего периода, сут (см. 10.3.16);
 P_3 и ρ_3 — средняя влажность, %, и плотность, $\text{т}/\text{м}^3$, осадка, направляемого на зимнюю площадку.

10.3.2.13 Зимнюю площадку необходимо предусматривать секционной. Площадь одной секции $A_{\text{зс}}$, м^2 , определяют по формуле

$$A_{\text{зс}} = \frac{W_{\text{сб}}}{h_{\text{сб}}}, \quad (10.8)$$

где $W_{\text{сб}}$ — объем одного залпового сброса осадка на зимнюю площадку, м^3 ;
 $h_{\text{сб}}$ — расчетный слой осадка на секции зимней площадки, принимаемый от 0,06 до 0,10 м.

При определении $A_{\text{зс}}$ следует учитывать рекомендованную конструктивную схему площадок (см. рисунки 10.1 – 10.4).

10.3.2.14 Количество секций зимней площадки $N_{зс}$, шт., определяют по формуле

$$N_{зс} = \frac{\tau}{\Delta\tau}, \quad (10.9)$$

где τ — длительность замораживания осадка расчетным слоем от 0,06 до 0,10 м в месяц периода устойчивого мороза с наиболее высокой среднесуточной температурой воздуха, сут; принимают по рисунку 10.5;

$\Delta\tau$ — периодичность напуска осадка на зимнюю площадку, сут.

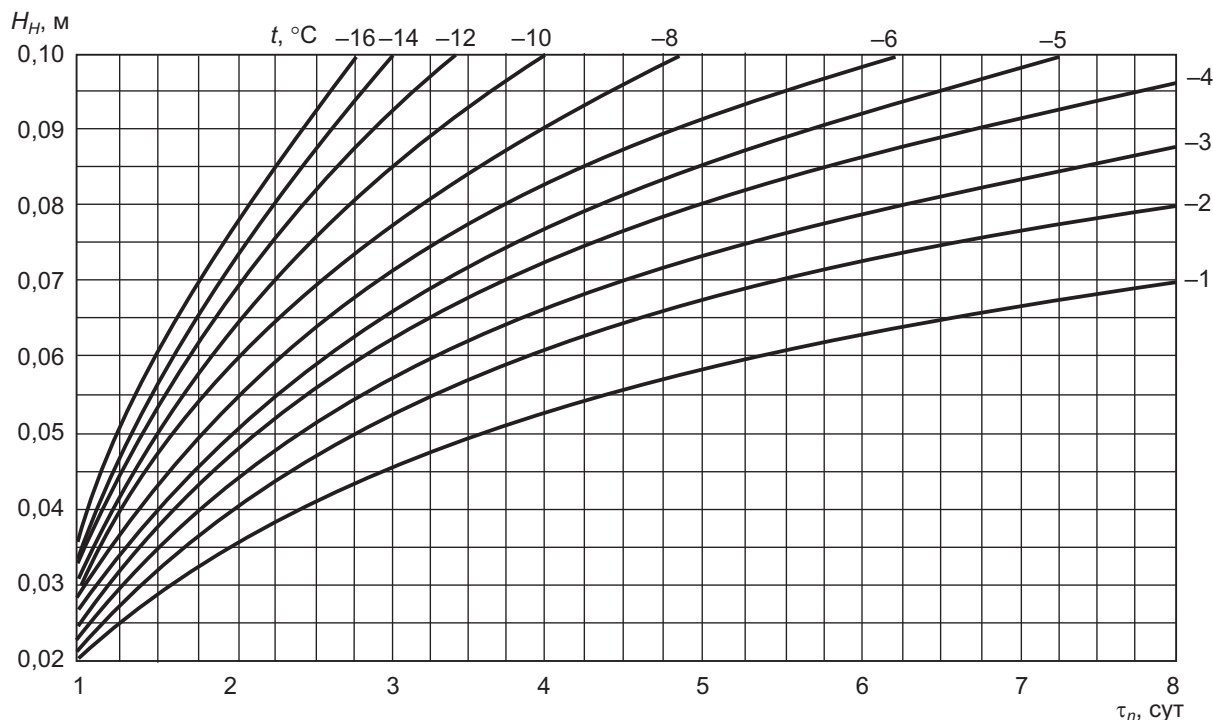


Рисунок 10.5 — Зависимость глубины промораживания осадка от среднесуточной температуры воздуха и продолжительности промораживания

10.3.2.15 Строительную высоту оградительного обвалования весенних или летних площадок замораживания $H_{стр.в} = H_{стр.л-о}$, м, определяют по формуле

$$H_{стр.в} = \frac{W_в}{A_в} + \frac{(N-1) \cdot W_{ов}}{A_в} + 0,2, \quad (10.10)$$

где $W_в$ — годовой объем уплотненного осадка на весенних площадках перед началом периода устойчивого мороза, м³;

$A_в$ — полезная площадь весенней площадки, м²;

N — продолжительность накопления уплотненного осадка на весенних площадках, лет;

$W_{ов}$ — годовой объем обезвоженного осадка на весенних площадках, м³, влажностью, принимаемой по таблице 10.1 для длительности уплотнения осадка $T_y = 10$ лет.

10.3.2.16 Строительную высоту оградительного обвалования зимних площадок $H_{стр.з} = H_{стр.л-о}$, м, определяют по формуле

$$H_{стр.з} = \frac{W_з}{A_з} + \frac{(N-1) \cdot W_{оз}}{A_з} \pm \Delta, \quad (10.11)$$

где $W_з$ — годовой объем осадка, замораживаемый на зимней площадке, м³;

$A_з$ — полезная площадь зимней площадки, м²;

N — продолжительность накопления осадка на зимней площадке (от 1 до 3 лет);

- $W_{\text{оз}}$ — годовой объем обезвоженного осадка на зимней площадке, м^3 , влажностью, принимаемой по таблице 10.1 для длительности уплотнения $T_y = 10$ лет;
- Δ — для конструктивной схемы площадки обезвоживания, приведенной на рисунке 10.1, $\Delta = 0,2$ м; $\Delta = -0,5$ м для конструктивной схемы площадки, приведенной на рисунке 10.2.

10.3.2.17 Для очистки площадок от обезвоженного осадка следует предусматривать устройство подъездных дорог и пандусов для въезда бульдозера на площадки, сдвигания осадка в зону действия грузоподъемных механизмов. Для многократного использования площадок замораживания следует учитывать необходимость проведения восстановительных работ по планировке дна площадок, увеличение высоты оградительных валиков после очистки площадок от осадка.

10.3.3 Сооружения для складирования осадка

10.3.3.1 К сооружениям для складирования осадка следует относить накопители осадка (см. 10.3.1) и наземные грунтовые или с твердым покрытием площадки, специально оборудованные для приема и складирования осадков, обезвоженных на площадках замораживания и на площадках фильтрационного обезвоживания.

10.3.3.2 Периодичность поступления осадка на специальные сооружения для складирования определяют графиком их вывоза автотранспортом из сооружений обезвоживания осадка.

Объем поступающего осадка следует определять по расчетной влажности обезвоженного осадка, принимаемой по таблице 10.2, для длительности уплотнения $T_y = 10$ лет.

10.3.3.3 Сооружения для складирования осадка следует предохранять от подтапливания ливневыми водами, предусматривая устройства отвода воды с площади сооружений.

10.3.3.4 При складировании замороженного и подсушенного осадка на площадках следует предусматривать их обвалование грунтом высотой 1 м с учетом дальнейшего наращивания обвалования обезвоженным осадком.

Осадок целесообразно распределить по площадкам, последовательно увеличивая высоту до 3–4 м.

Для укрепления образованных отвалов следует засевать наружную поверхность обвалования травами.

10.3.3.5 Обезвоженные осадки в сооружениях складирования следует рассматривать как возможные источники сырья в строительном производстве, при изготовлении красок, в очистке сточных вод и др.

10.3.3.6 Примеры расчета сооружений по обработке промывных вод и обезвоживанию осадка приведены в приложении Е.

Приложение А
(рекомендуемое)

Выбор метода обезжелезивания в зависимости от качества воды

Таблица А.1

Состав воды	Технология обезжелезивания	Сооружения	Замечания
1 а) $Fe_{об} \leq 10$ мг/л (при этом $Fe^{2+} \geq 70$ % от $Fe_{об}$); б) $H_2S \leq 0,5$ мг/л; в) $pH \geq 6,8$; г) окисляемость ≤ 5 мг/л; д) щелочность ≥ 2 ммоль/л; е) $Eh \geq 100$ мВ; ж) $NH_4^+ \leq 1,5$ мг/л; к) $CH_4 \leq 0,5$ мг/л	Упрощенная аэрация и фильтрование. Процесс обезжелезивания: на зернах фильтрующей загрузки образуется пленка преимущественно из гидроксида железа с сорбционным и автокаталитическим действием, т. е. в процессе фильтрования происходит одновременно $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ и задержание железа фильтрующей загрузкой. Требуется предварительная вработка фильтрующего материала	В самотечном режиме: аэрация изливом из воронки на подающем трубопроводе или из перфорированного лотка, размещаемых на входе в фильтр; скорый безнапорный фильтр. В напорном режиме: аэратор в виде напорного смесителя или ввод воздуха в подающий трубопровод; напорный фильтр	Очищенная вода должна иметь: окислительно-восстановительный потенциал $Eh \geq 100$ мВ; индекс стабильности $> 0,05$ (в противном случае вода не будет стабильна и может вызвать вторичное загрязнение железом, растворяя металл труб)
2 Состав, как в 1, но Fe^{2+} минимально 80 %, $pH \leq 6,8$, щелочность ≤ 2 ммоль/л	Упрощенная аэрация с последующим фильтрованием через щелочные материалы. Предварительная вработка загрузки при обезжелезивании воды не требуется	Как в 1	Минимальное содержание кислорода в воде после фильтров — 1,5 мг/л, большие колебания нежелательны
3 Состав, как в 1, но $Fe_{об} \leq 6$ мг/л	Каталитическое фильтрование. Процесс обезжелезивания: фильтрование через загрузку, покрытую пленкой из соединений железа и (или) марганца, или через природные фильтрующие материалы с каталитическими свойствами	Фильтры с модифицированной (катализированной) или природной каталитической загрузкой. Реагентное хозяйство для модифицирования и периодической регенерации загрузки	Большинство модифицированных загрузок требуют периодической регенерации

Продолжение таблицы А.1

Состав воды	Технология обезжелезивания	Сооружения	Замечания
4 Состав, как в 1, но $\text{Fe} \leq 6$ мг/л, $\text{pH} \geq 6,5$, содержание аммония — более 1,5 мг/л	Сухое фильтрование. Одновременное окисление $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ и автокаталитическое действие фильтрующей загрузки, реализованное в ходе фильтрования воздушно-водяной эмульсии	Фильтры с песчаной, антрацитово-й, керамзитовой или иной загрузкой, с насадкой, смесителем для получения воздушно-водяной эмульсии или вакуум-насосом на выходе из фильтра, с разделителем профильтрованной эмульсии	Снижение pH воды при обезжелезивании компенсируется его повышением вследствие выноса свободной углекислоты. Постоянный приток кислорода обеспечивает его необходимое количество в воде
5 Состав, как в 1, но $\text{H}_2\text{S} \geq 0,5$ мг/л, $\text{CH}_4 \geq 0,5$ мг/л, $\text{CO}_2 \geq 40$ мг/л (важно для напорных фильтров)	Варианты: а) интенсивная аэрация и фильтрование в самотечном режиме; б) интенсивная аэрация и фильтрование в напорном режиме; в) комбинированные схемы (см. рисунок 5.5). Ход обезжелезивания: в процессе аэрации $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ с одновременным удалением избытка CO_2 , H_2S и CH_4	В самотечном режиме: а) аэратор в виде градирни, каскадного типа или др. и фильтры; б) аэрация изливом с помощью перфорированного лотка или разбрызгивающих насадок и фильтры; в) аэратор как в перечислении а), но с контактным резервуаром или отстойником (или осветлителем); открытый фильтр. В напорном режиме: а) напорный аэратор и напорный фильтр; б) аэратор в виде смесителя, предварительный (контактный) фильтр, открытый фильтр	—
6 Состав как в 1, но $\text{Fe}_{\text{об}} \leq 20$ мг/л или $\text{Fe}_{\text{об}} \leq 10$ мг/л, но $\text{Mn} \geq 0,5$ мг/л	Упрощенная или интенсивная аэрация, двухступенчатое фильтрование через однослойные или многослойные фильтры по напорной, самотечной или комбинированой схеме (см. рисунок 5.5)	Состав сооружений как в 1, но с двумя ступенями фильтрования	—

Окончание таблицы А.1

Состав воды	Технология обезжелезивания	Сооружения	Замечания
7 Состав как в 1, $Fe \leq 6$	Обезжелезивание непосредственно в водоносном пласте. Процесс обезжелезивания: окисление $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$, а также фильтрация в водоносном пласте, действующем автокаталитически. Эффективность процесса увеличивается за счет жизнедеятельности железо- и марганецоксилирующих микроорганизмов	Рабочие и закачные скважины, резервуар для обогащения воды кислородом с насосом для закачки аэрированной воды	Эксплуатационные (рабочие) скважины могут периодически служить закачными
8 Fe и Mn, связанные с органическими веществами; окисляемость > 6 мг/л, pH $< 6,8$, щелочность < 2 ммоль/л, $Fe^{3+} > 30$ % от $Fe_{об}$	Варианты: а) аэрация, коагулирование, отстаивание, фильтрование; б) аэрация и контактная коагуляция в слое фильтрующей загрузки; в) подщелачивание воды известью; г) введение сильных окислителей. Процесс обезжелезивания: а) коагулирование воды, хлопьеобразование и отделение взвеси отстаиванием с последующим фильтрованием воды; б) обработка воды окислителями или известью с последующим фильтрованием или отстаиванием и фильтрованием	По перечислению а) — аэраторы, сооружения для коагуляции в свободном объеме, отстойники, фильтры. По перечислению б) — аэраторы и контактные фильтры. По перечислениям в) и г) — отстойники, осветлители со слоем взвешенного осадка, фильтры или только фильтры. Для всех вариантов — сооружения реагентного хозяйства	—

Приложение Б (рекомендуемое)

Примеры расчета скорых фильтров

Б.1 Расчет скорых фильтров станции обезжелезивания подземных вод производительностью 66 950 м³/сут

Б.1.1 Качество воды характеризуется следующими показателями: железо — 3,4 мг/л (в трехвалентной форме — 0,7 мг/л), марганец — 0,05 мг/л, pH — 6,9, растворенная углекислота — 40 мг/л, щелочность — 2,6 ммоль/л, жесткость — 3,9 ммоль/л, окисляемость — 4,1 мг/л, сероводород — 0,2 мг/л, окислительно-восстановительный потенциал — +100 мВ. По остальным химическим, а также микробиологическим показателям вода соответствует требованиям, предъявляемым к питьевой воде.

Технологическими исследованиями определено, что для удаления железа из воды может быть использован метод фильтрования с упрощенной аэрацией изливом воды с высоты 0,5 м над уровнем воды в фильтре, что обеспечит наличие кислорода в воде в среднем от 3 до 4 мг/л. Приняты скорые открытые двухслойные фильтры (верхний слой — антрацит с диаметром зерен от 0,8 до 1,8 мм и высотой слоя 0,8 м, нижний — кварцевый песок с диаметром зерен от 0,5 до 1,2 мм и высотой слоя 0,5 м).

Б.1.2 Скорость фильтрования, при которой в процессе технологических исследований достигнут требуемый эффект удаления железа (остаточное содержание железа в фильтрате менее 0,15 мг/л), составила 10,5 м/ч, для расчетов с запасом принято значение скорости фильтрования при нормальном режиме на 17 % меньше — 8,7 м/ч.

Предусмотрена водяная промывка фильтров со следующими параметрами:

— скорость промывки — 54 м/ч;

— продолжительность промывки — 0,12 ч;

— время простоя фильтра в связи с промывкой — 0,33 ч.

Фильтры промываются поочередно, в течение суток каждый фильтр промывается 1 раз.

Б.1.3 Общую площадь фильтров A_{ϕ} , м², определяют по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.1)):

$$A_{\phi} = \frac{66\,950}{24 \cdot 8,7 - 1 \cdot 54 \cdot 0,12 - 1 \cdot 0,33 \cdot 8,7} = 335,67.$$

Принимается фильтр с размерами в осях в плане 6×9 м, общей площадью 54 м², с боковым каналом шириной 1 м, расположенным вдоль его длинной стороны (рисунок Б.1), площадью фильтрования в свету

$$A_1 = 4,8 \cdot 8,8 = 42,24 \text{ м}^2 \text{ (в осях } 5 \times 9 \text{ м)}.$$

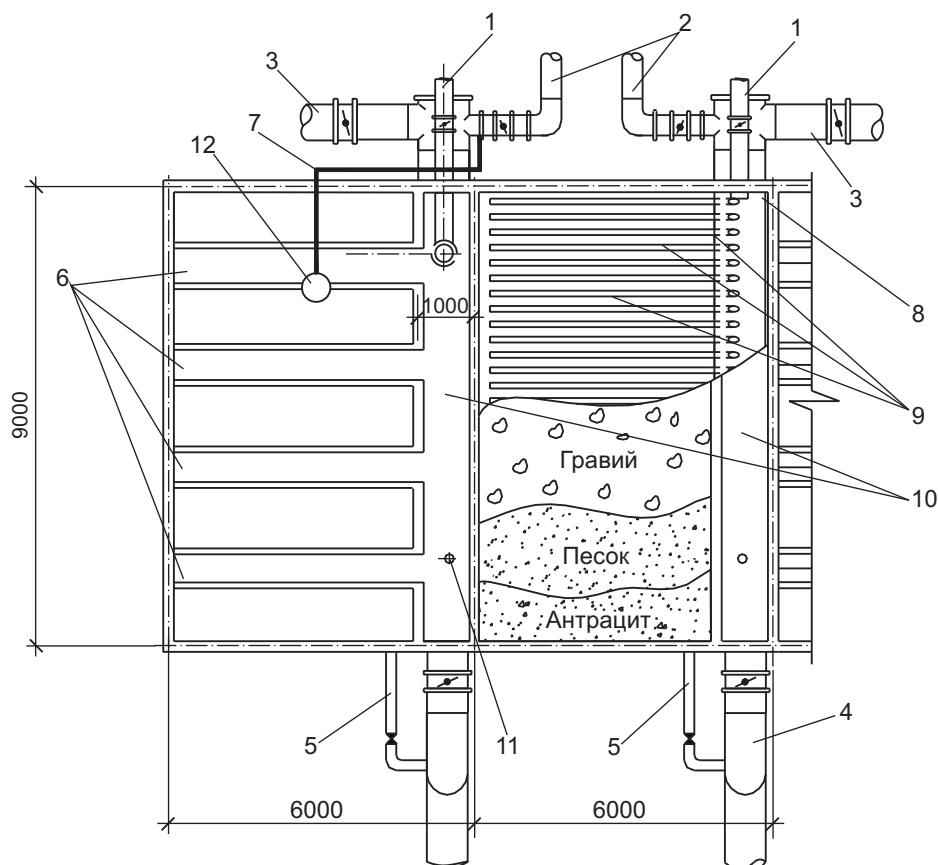
Требуемое количество фильтров N_{ϕ} , шт., определяют по следующей формуле

$$N_{\phi} = \frac{A_{\phi}}{A_1} = \frac{335,67}{42,24} = 7,95 \approx 8.$$

Реальная площадь фильтрования составит: $A_{\phi} = 42,24 \cdot 8 = 337,92 \text{ м}^2$, т. е. несколько больше расчетной, вследствие чего фактическая скорость фильтрования незначительно уменьшится и составит 8,64 м/ч.

Скорость фильтрования при форсированном режиме v_{ϕ} , м/ч, при одном фильтре, находящемся в ремонте ($N_1 = 1$), по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.3)) составляет:

$$v_{\phi} = 8,64 \cdot \frac{8}{8 - 1} = 9,87.$$



- 1 — подача воды на обезжелезивание; 2 — отвод фильтрата; 3 — подача воды на промывку;
 4 — отвод промывной воды; 5 — опорожнение фильтра;
 6 — желоба для сбора и отведения воды после промывки фильтра; 7 — регулятор скорости фильтрования;
 8 — коллектор дренажа; 9 — ответвления дренажной системы; 10 — сборные каналы;
 11 — воздушник; 12 — поплавок для регулирования скорости фильтрования

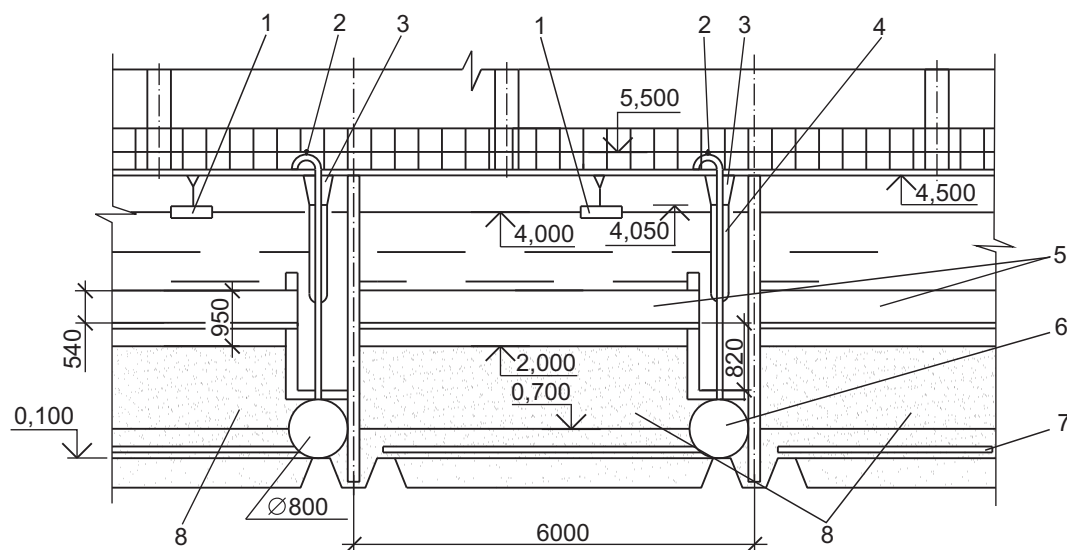
Рисунок Б.1 — Деталь фильтровального зала

Полученное значение скорости фильтрования при форсированном режиме допустимо по ТКП 45-4.01-31 (таблица 8.1).

Б.1.4 Дренажная система фильтра принятой конструкции состоит из коллектора и боковых ответвлений (распределительных труб), расположенных с одной его стороны. Сам коллектор размещается непосредственно у дна фильтра под боковым каналом, предусмотренным внутри фильтра вдоль его длинной стороны, как показано на рисунке Б.2.

Расчет дренажной системы фильтра выполняется по промывному расходу, приходящемуся на один фильтр $q_{пр}$, л/с, определяемому по формуле

$$q_{пр} = v_{пр} A_1 = 54 \cdot 42,24 = 2280 \text{ м}^3/\text{ч} = 634. \quad (\text{Б.1})$$



- 1 — поплавковый регулятор уровня; 2 — воздушник; 3 — водосливная воронка;
 4 — подача воды на фильтры; 5 — желоб фильтра; 6 — сборно-распределительный коллектор;
 7 — дренажные распределительные трубы (ответвления дренажа); 8 — фильтрующая загрузка

Рисунок Б.2 — Разрез по фильтрам

Диаметр коллектора принимается по $q_{пр}$ и допустимой скорости движения воды в нем в пределах от 0,8 до 1,2 м/с. Приняты стальные электросварные трубы. При скорости движения воды в коллекторе 1,2 м/с его диаметр d_k принимается равным 800 мм.

Число ответвлений дренажной системы n , шт., при расстоянии между ними 300 мм составляет:

$$n = \frac{8,8}{0,3} \approx 30,$$

расход воды в одном ответвлении $q'_{пром}$, л/с, составляет:

$$q'_{пр} = \frac{q_{пр}}{n} = \frac{634}{30} = 21,13.$$

При скорости движения воды в ответвлениях 1,60 м/с (допустимые скорости от 1,6 до 2,0 м/с) их диаметр принимается равным 125 мм (трубы стальные водогазопроводные).

На ответвлениях предусматриваются отверстия диаметром 12 мм, площадью 0,000113 м² каждое. Суммарная площадь отверстий A_o , м², на всех ответвлениях принята равной 0,25 % от площади фильтра и составляет:

$$A_o = 0,0025 \cdot 42,24 = 0,1056.$$

Число отверстий:

— на всех ответвлениях

$$n_o = \frac{0,1056}{0,000113} = 934;$$

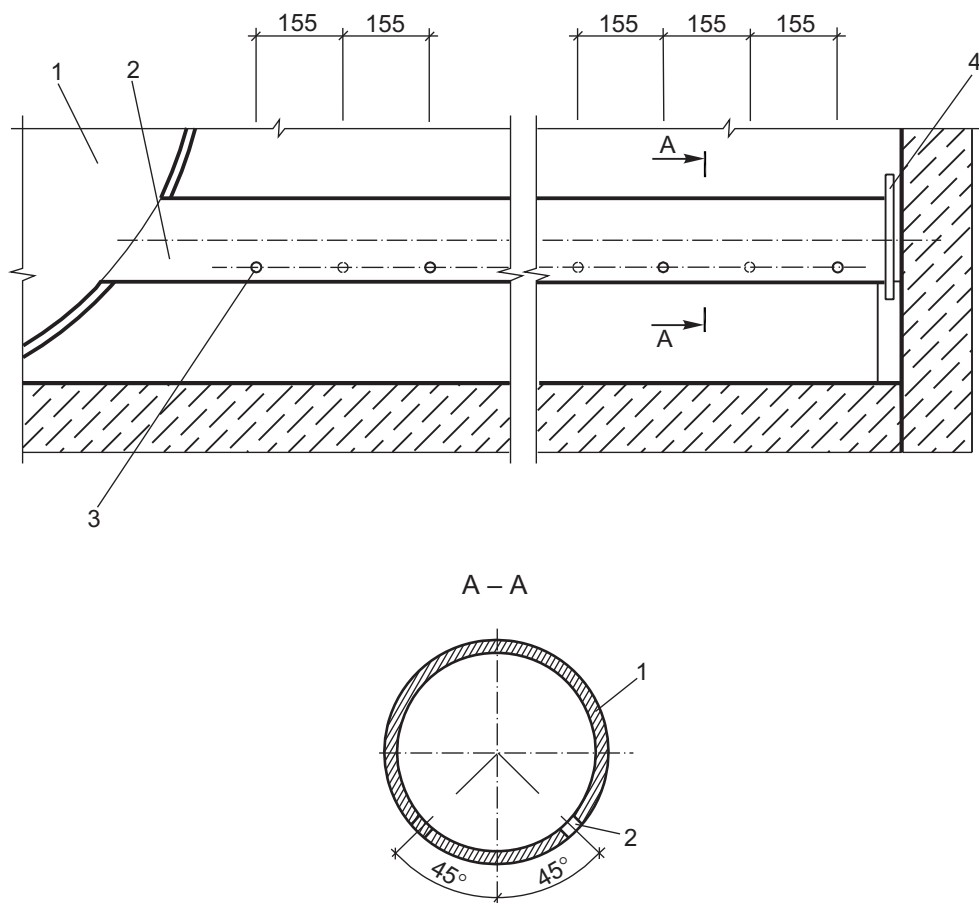
— на одном

$$n'_o = \frac{934}{30} = 31.$$

Шаг отверстий

$$l_o = \frac{4,8}{31} = 0,155 \text{ м (155 мм), т. е. в пределах требуемого (от 150 до 200 мм).}$$

Деталь ответвления распределительной системы приведена на рисунке Б.3.



1 — коллектор; 2 — ответвление распределительной системы; 3 — отверстия; 4 — заглушка

Рисунок Б.3 — Деталь ответвления дренажной системы фильтра

Отверстия на ответвлении располагаются в два ряда в шахматном порядке в нижней части ответвлений под углом 45° (см. рисунок Б.3).

Ответвления дренажной системы должны быть горизонтальны и на одной отметке.

Дренажную систему располагают у дна фильтра в нижнем из поддерживающих слоев с размером фракций от 20 до 40 мм. Верхняя граница этого слоя должна находиться на уровне верха распределительных труб, но не менее чем на 100 мм выше отверстий. С учетом расстояния от низа трубы до дна фильтра, принятого равным 95 мм, и диаметра ответвлений 125 мм толщина этого слоя составит 220 мм.

Остальные три слоя с размерами фракций от 10 до 20; от 5 до 10 и от 2 до 5 мм принимаются высотой по 100 мм каждый по ТКП 45-4.01-31 (таблица 8.2). Общая высота поддерживающих слоев: $220 + 100 + 100 + 100 + 80 = 600$ мм. Деталь загрузки фильтра показана на рисунке Б.4.

Б.1.5 Слой воды над загрузкой в фильтрах принимается не более 2 м, конструктивное превышение стен фильтра над слоем воды — 0,5 м.

Общую высоту фильтра H_{ϕ} , м, определяют по формуле

$$H_{\phi} = H_{\text{под}} + H_3 + H_{\text{в}} + H_{\text{стр}}, \quad (\text{Б.2})$$

где $H_{\text{под}}$ — высота поддерживающих слоев, м;

H_3 — высота слоев фильтрующей загрузки, м;

$H_{\text{в}}$ — высота слоя воды над загрузкой, м;

$H_{\text{стр}}$ — строительное превышение стенок фильтра над слоем воды, м.

$$H_{\phi} = 0,60 + 1,3 + 2,0 + 0,5 = 4,4.$$

Наименование загрузки	Предел крупности зерен, мм	Высота слоя, мм
 Антрацит	0,8–1,8	800
 Песок	0,5–1,2	500
 Гравий	1,2–2,0	80
	2–5	100
	5–10	100
	10–20	100
	20–40	220

Рисунок Б.4 — Деталь загрузки фильтра

Б.1.6 Количество желобов для сбора и отведения промывной воды $n_{\text{ж}}$ определяют по формуле

$$n_{\text{ж}} = \frac{B_1}{2,2} = \frac{8,8}{2,2} = 4, \quad (\text{Б.3})$$

где B_1 — длина стороны фильтра, перпендикулярно к которой располагаются желоба, м;
2,2 — предельно допустимое расстояние между осями желобов, м.

Расстояния от осей крайних желобов до стенок фильтра принимаются равными 1,1 м.

Расход промывной воды в желобе $q_{\text{ж}}$, м³/с, определяют по формуле

$$q_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{пром}}}{n_{\text{ж}}} = \frac{0,634}{4} = 0,158. \quad (\text{Б.4})$$

Приняты желоба с полукруглым лотком. Ширину желоба $B_{\text{ж}}$, м, определяют по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.6)) при $K = 2$ и $a = 1$, и она составляет:

$$B_{\text{ж}} = 2 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,158^2}{(1,57 + 1)^3}} = 0,54.$$

Полная высота желоба составляет также 0,54 м (исходя из принятого отношения высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины).

Расстояние от верхней кромки желобов до поверхности фильтрующего материала $H_{\text{ж}}$, м, определяют по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.8)):

$$H_{\text{ж}} = \frac{1,3 \cdot 50}{100} + 0,3 = 0,95.$$

Верх желобов принимается горизонтальным, дно — с уклоном в сторону бокового канала.

Б.1.7 Поскольку в канал поступает промывная вода из всех желобов, т. е. со всего фильтра, расход воды в канале равен промывному расходу. Ширина канала принимается равной 0,9 м. Расстояние от дна желобов до дна канала $H_{\text{кан}}$, м, во избежание подпора должно быть не менее определенного по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.7)):

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,634^2}{9,81 \cdot 0,9^2}} + 0,2 = 0,85.$$

Б.1.8 Исходя из опыта проектирования и эксплуатации подобных сооружений, потери напора при промывке принимаются равными 15 м, включая потери напора в фильтрующей загрузке, поддерживающих слоях, распределительной системе, в трубопроводе, подающем воду на промывку, на образование скорости во всасывающем и напорном патрубках насоса для подачи промывной воды, на местные сопротивления в фасонных частях и арматуре, с учетом геометрической высоты подъема воды от дна резервуара чистой воды до верхней кромки желобов.

Б.1.9 Предусматривается промывка фильтров с помощью специальных промывных насосов. При использовании насосов забор воды осуществляется из резервуаров чистой воды. Принимаются два насоса (один рабочий, один резервный).

Б.1.10 Для удаления воздуха из дренажной системы предусматривается воздушник в виде трубы с вентилем диаметром 100 мм.

Опорожнение фильтров предусматривается с помощью труб диаметром 200 мм, располагаемых у дна фильтра.

Б.2 Расчет скорых фильтров с песчаной загрузкой и колпачковой дренажной системой

Б.2.1 Расчетная суточная производительность станции водоподготовки Q равна 25 000 м³/сут.

Качество воды характеризуется следующими показателями: железо — 2,3 мг/л (в трехвалентной форме — 0,7 мг/л), марганец — 0,03 мг/л, pH — 7,2, растворенная углекислота — 35 мг/л, щелочность — 2,9 ммоль/л, жесткость — 3,5 ммоль/л, окисляемость — 3,7 мг/л, сероводород — 0,1 мг/л, окислительно-восстановительный потенциал — +120 мВ. По остальным химическим, а также микробиологическим показателям вода соответствует требованиям [1].

Б.2.2 По результатам технологических исследований определены следующие значения параметров для проектирования фильтров:

— загрузка — среднезернистый кварцевый песок, $d_{\text{мин}} = 0,7$ мм, $d_{\text{макс}} = 1,6$ мм, $d_{\text{ср}} = 1,15$ мм, коэффициент неоднородности $K_{\text{н}} = 1,8$, высота слоя $H_3 = 1,0$ м;

— скорость фильтрования $v_{\text{н}} = 7$ м/ч, при форсированном режиме $v_{\text{ф}} \leq 10$ м/ч;

— скорость промывки $v_{\text{пр}} = 54$ м³/(ч·м²), количество промывок в сутки $n = 1$, $t_1 = 7$ мин = 0,12 ч, продолжительность простоя фильтра в связи с промывкой $t_2 = 0,33$ ч.

Б.2.3 Общую требуемую площадь фильтрования $A_{\text{ф}}$, м², определяют по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.1)), которая после небольших преобразований имеет вид:

$$A_{\text{ф}} = \frac{25\,000}{7 \cdot (24 - 1 \cdot 0,33) - 1 \cdot 54 \cdot 0,12} = 157,03.$$

Б.2.4 Размеры одного фильтра в плане принимаются $BL = 3 \cdot 6$ м, т. е. площадь фильтрования одного фильтра A_1 равна 18 м² (см. рисунок Б.5). Количество фильтров $N_{\text{ф}} = 165/18 = 9,2$, принимается $N_{\text{ф}} = 9$. Общая площадь фильтрования при этом составит $A_{\text{ф}} = 18 \cdot 9 = 162$ м².

Фактическая скорость фильтрования при нормальном режиме при этом уменьшится до 6,8 м/ч.

Б.2.5 При условии, что один фильтр находится в ремонте (N_1), скорость фильтрования при форсированном режиме $v_{\text{ф}}$, м/ч, по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.3)) составляет:

$$v_{\text{ф}} = \frac{v_{\text{н}} N_{\text{ф}}}{N_{\text{ф}} - N_1} = \frac{6,8 \cdot 9}{9 - 1} = 7,65,$$

что допустимо.

Б.2.6 Расчет количества фильтрующих колпачков в ложном днище сводится к определению требуемой площади и количества колпачков:

а) требуемая площадь отверстий в колпачках A_k , м², при условии процентного отношения площади отверстий в колпачках к площади фильтра p , %, не более 1,2, составляет:

$$A_k = A_f \cdot \frac{p}{100} = 18 \cdot \frac{1,2}{100} = 0,216;$$

б) количество колпачков n_k при условии, что колпачок имеет 36 щелей с размерами 0,25×20 мм, составляет:

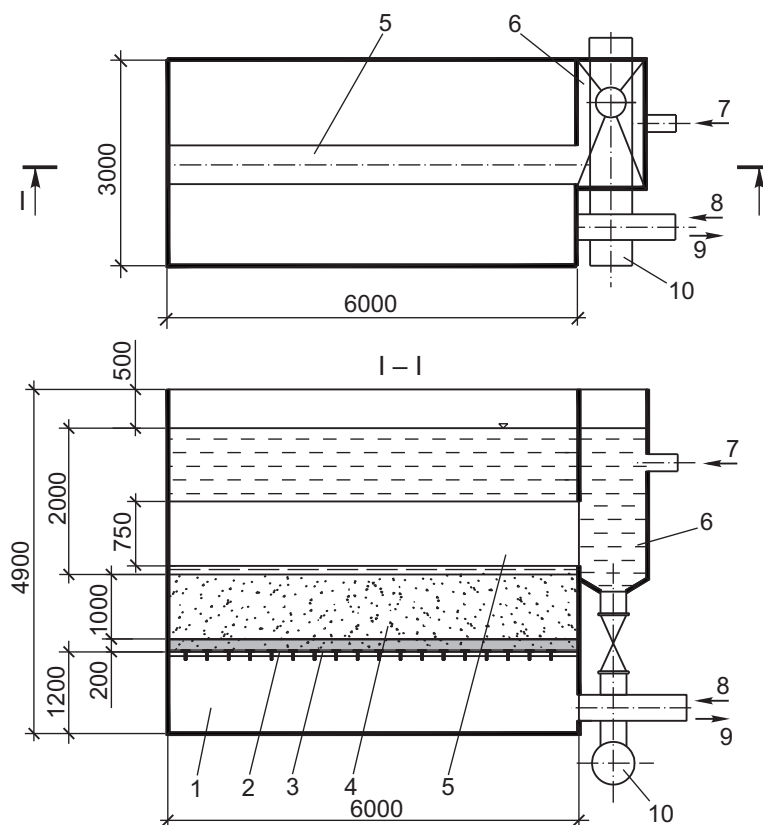
$$n_k = \frac{0,216}{36 \cdot 0,25 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} = 1200.$$

Б.2.7 Ложное днище состоит из плит с размерами 1×1 м. Для данного фильтра количество плит составит 18. В каждой из плит количество колпачков должно быть $n_k = 1200 : 18 = 66,7$; n_k принимается равным 64 колпачкам, располагаемым равномерно по площади плиты (по длине и ширине) 8×8 шт. Таким образом, колпачки должны быть расположены друг от друга на расстоянии b , м:

$$b = \frac{l}{n_1 + 1} = \frac{1}{9} = 0,11,$$

где n_1 — количество колпачков в одном ряду дренажной плиты, равное 8.

Суммарное количество колпачков в фильтре составит $n_k = 18 \cdot 64 = 1152$ шт. (рисунок Б.6).



- 1 — камера профильтрованной воды; 2 — дренажные плиты; 3 — поддерживающие слои;
 4 — фильтрующая загрузка; 5 — желоб для сбора и отведения грязной промывной воды; 6 — канал;
 7 — подача воды после азратора; 8 — вода на промывку; 9 — профильтрованная вода;
 10 — грязная промывная вода (вода после промывки фильтров)

Рисунок Б.5 — Схема скорого фильтра с колпачковым дренажем

Б.2.8 Расход воды при промывке через один колпачок q_k , м³/ч, составит:

$$q_k = \frac{A_1 v_{\text{пр}}}{n_k} = \frac{18 \cdot 54}{1152} = 0,84 = 0,233 \text{ л/с.}$$

Потери напора в колпачках h_k , м, в процессе промывки определяют по ТКП 45-4.01-31 (формула (7.3) и 8.1.14), и они составляют:

$$h_k = \frac{4 \cdot 1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 0,46.$$

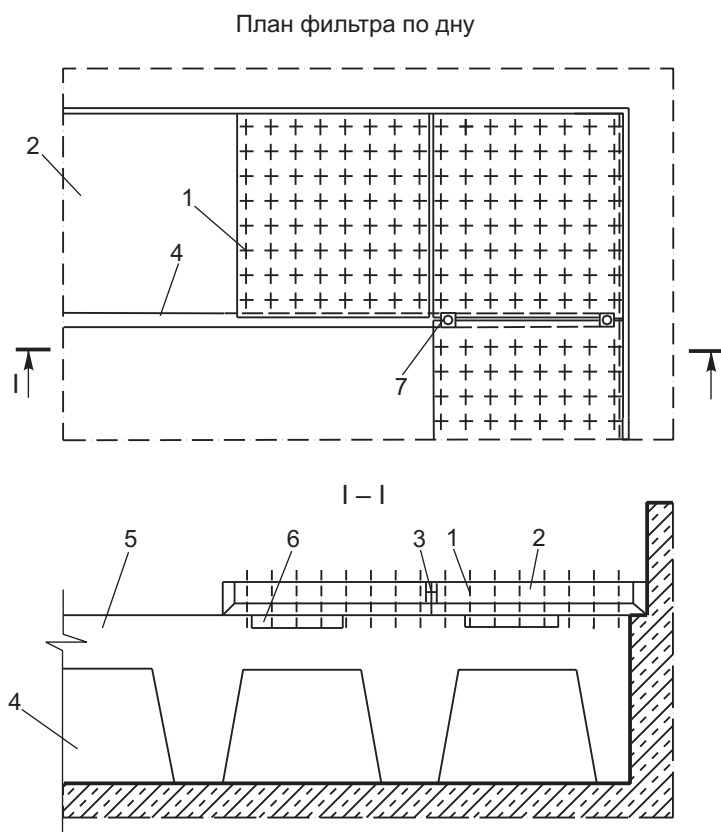
Б.2.9 Принят поддерживающий слой из гравия высотой $H_n = 0,2$ м с крупностью зерен от 2 до 4 мм (для защиты щелей колпачков от попадания в них мелких частиц фильтрующей загрузки).

Б.2.10 Потеря напора h_n , м, в поддерживающем слое в процессе промывки по формуле (6.5) составит:

$$h_n = 0,08 \cdot 0,2 \cdot 54 = 0,86.$$

Б.2.11 При условии, что плотность песка $\rho_3 = 2,65$ т/м³, воды $\rho_в = 1,00$ т/м³, пористость $m_0 = 40$ %, высота слоя загрузки $H_3 = 1$ м, величина потери напора в загрузке h_3 , м, по формуле (6.6) составит:

$$h_3 = \left(\frac{2650}{1000} - 1 \right) \cdot (100 - 40) \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 1.$$



- 1 — колпачки; 2 — плита; 3 — соединение плит; 4 — междудонное пространство;
5 — поддерживающие балки; 6 — зазор; 7 — крепежный болт

Рисунок Б.6 — Схема ложного днища скорого фильтра с фильтрующими колпачками

Б.2.12 Вода после промывки фильтра отводится по сборному желобу, расположенному по оси фильтра. Расход промывной воды по желобу $q_{\text{пр}}$, м³/с, определяют по следующей формуле:

$$q_{\text{пр}} = v_{\text{пр}} A_1 = 54 \cdot 18 = 972 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,27.$$

Принимается желоб с прямоугольной верхней частью и полукруглым в нижней части при $a = 1$, $K = 2$, ширину которого $B_{\text{ж}}$, м, определяют по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.6)):

$$B_{\text{ж}} = 2 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,27^2}{1,57 + 1}} = 0,49 \approx 0,5.$$

Высота прямоугольной части желоба составляет $0,5B_{\text{ж}}$ или 0,25 м, столько же составляет высота полукруглой части, полная высота желоба $h_{\text{ж}} = B_{\text{ж}} = 0,5$ м.

Минимальная высота расположения кромок желоба над поверхностью загрузки должна составлять по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.8)):

$$H_{\text{ж}} = \frac{H_3 a_3}{100} + 0,3 = \frac{1 \cdot 30}{100} + 0,3 = 0,60 \text{ м.}$$

Конструктивно $H_{\text{ж}} = 0,85$ м с учетом толщины стенок желоба и необходимого просвета между его нижней образующей и верхом фильтрующей загрузки.

Б.2.13 Принят сборный канал шириной $B_{\text{к}} = 1$ м (должна быть не менее 0,7 м). Высота сборного канала $H_{\text{кан}}$, м, измеряемая от дна желобов до дна канала, по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.7)) составит:

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,27^2}{9,81 \cdot 1^2}} + 0,2 = 0,54,$$

где $q_{\text{к}}$ — расход промывных вод; для данного примера $q_{\text{пр}} = q_{\text{к}} = 0,27 \text{ м}^3/\text{с}$.

Б.2.14 Диаметры трубопроводов, подводящих исходную воду и отводящих фильтрат, определяют по расходу и скорости движения воды в них:

а) трубопровод, подающий воду на все фильтры:

$$\text{при } q_{\text{сут}} = \frac{25000}{86400} = 0,289 \text{ м}^3/\text{с} \text{ и } v = 1,2 \text{ м/с } d = 500 \text{ мм;}$$

б) трубопровод, подающий воду на каждый фильтр:

$$\text{при } q_0 = \frac{25000}{9 \cdot 86400} = 0,032 \text{ м}^3/\text{с} \text{ и } v = 0,93 \text{ м/с} \text{ принято } d = 200 \text{ мм;}$$

в) диаметры трубопроводов, отводящих фильтрат и подающих воду на фильтрование идентичны;

г) трубопровод, подающий воду на промывку. Расход принимается равным промывному расходу, т. е.

$$\text{при } q_{\text{пр}} = 54 \cdot 18 = 972 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,27 \text{ м}^3/\text{с} \text{ и } v = 2 \text{ м/с } d = 450 \text{ мм;} \text{ принято } d = 500 \text{ мм;}$$

д) трубопровод, отводящий грязную промывную воду, принимается с уклоном $i = 0,01$. Расход принимается равным промывному расходу, т. е. при $q_{\text{пр}} = 0,27 \text{ м}^3/\text{с}$ и $v = 1,29 \text{ м/с}$ $d = 500$ мм.

Б.2.15 Потеря напора при промывке фильтра $h_{\text{пр}}$, м, определенная в месте присоединения трубопровода подачи воды в камеру фильтра, составит:

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{г1}} + h_{\text{г2}} + h_{\text{к}} + h_{\text{п}} + h_3 = 3,25 + 5,0 + 0,46 + 0,8 + 1 = 10,51,$$

где $h_{\text{к}}$, $h_{\text{п}}$, h_3 определены ранее;

$h_{\text{г1}}$ — геометрическая высота от истинного дна камеры фильтра до верха сборного желоба, м:

$$h_{\text{г1}} = 1,2 + 0,2 + 1 + 0,85 = 3,25;$$

$h_{\text{г2}}$ — геометрическая высота от дна резервуара (с запасом) до истинного дна камеры фильтра, м; принимается по высотной схеме сооружений станции водоподготовки, в данном примере — 5 м.

С учетом потерь напора на всасывание, по длине напорных трубопроводов, а также на местные сопротивления требуемый напор промывных насосов принимается не менее 15 м, производительность — равной промывному расходу.

Б.3 Расчет скорых безнапорных фильтров с напорным аэратором

Б.3.1 Расчетная суточная производительность станции водоподготовки Q равна $900 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Качество воды характеризуется следующими показателями: $\text{pH} = 7$, $\text{Fe} (\text{Fe}^{2+}) = 5 \text{ мг/л}$, $t = 9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Б.3.2 Приняты открытые скорые фильтры без желобов с тремя каналами для сбора и отведения промывной воды — одним центральным и двумя боковыми (см. рисунок Б.7).

Б.3.3 Для аэрации принимается закрытый аэратор (см. рисунок В.1) с обогащением воды кислородом воздуха до 6 мг/л . В качестве фильтрующей загрузки принят кварцевый песок с крупностью зерен d_3 от $1,0$ до $1,6 \text{ мм}$ и высотой слоя 2000 мм . Водовоздушная промывка принята в три этапа с параметрами по ТКП 45-4.01-31 (таблица 8.3):

- 1 мин — взрыхление воздухом со скоростью 60 м/ч ;
- 5 мин — совместная водовоздушная промывка с подачей воздуха со скоростью 50 м/ч и воды со скоростью 12 м/ч ;
- 4 мин — водяная промывка со скоростью 22 м/ч .

Б.3.4 Среднее значение диаметра зерен фильтрующего материала $d_{\text{ср}}$, мм, составит:

$$d_{\text{ср}} = \frac{1,0 + 1,6}{2} = 1,3.$$

Необходимая скорость фильтрования $v_{\text{ф}}$, м/ч, и коэффициент s определяются по ТКП 45-4.01-31 (формула (14.1) и график, приведенный на рисунке 14.1, соответственно). При $s = 0,15$, скорость фильтрования $v_{\text{ф}}$, м/ч, составит:

$$v_{\text{ф}} = \frac{2,0 \cdot 6,0}{0,115 \cdot 1,3 \cdot (26,31 - 9)} = 4,6.$$

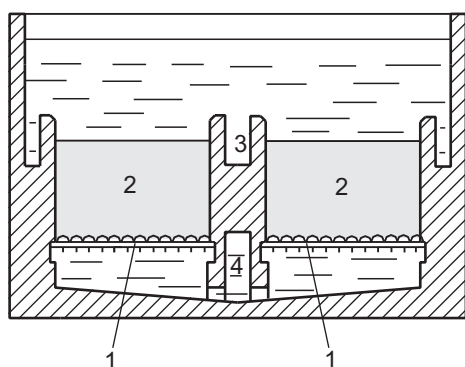
Б.3.5 При производительности станции $q_{\text{ст}} = 900 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($Q_{\text{сут}} = 21600 \text{ м}^3/\text{сут}$) требуемая площадь фильтрования $A_{\text{ф}}$, м^2 , по ТКП 45-4.01-31 (формула (8.1)) составит:

$$A_{\text{ф}} = \frac{21600}{24 \cdot 4,6 - 1 \cdot 12 \cdot 0,08 - 1 \cdot 22 \cdot 0,07 - 1 \cdot 0,5 \cdot 4,6} = 204,54.$$

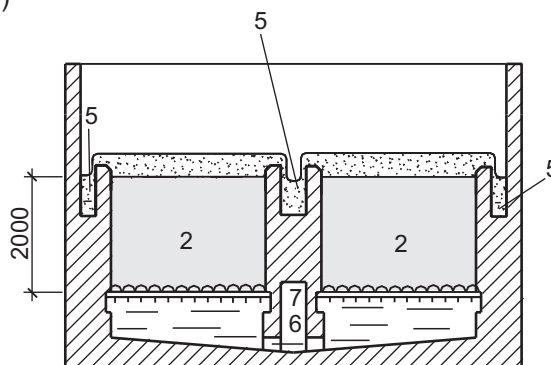
По рисунку Б.7 принимаются шесть фильтров с площадью фильтрования $34,1 \text{ м}^2$ каждый. При ширине секции фильтра 3 м его длина составит: $\frac{34,1}{2 \cdot 3,0} = 5,61 \text{ м}$; принимается 6 м . Площадь фильтрования

одного фильтра будет равна $6 \cdot 3 \cdot 2 = 36 \text{ м}^2$ (две секции по 18 м^2), общая площадь $A_{\text{ф}} = 36 \cdot 6 = 216 \text{ м}^2$, $v_{\text{ф}} = 4,4 \text{ м/ч}$.

а)



б)



- 1 — днище фильтра из напряженного бетона с фильтрующими колпачками; 2 — фильтрующая загрузка;
 3 — подача сырой воды; 4 — отвод фильтрата; 5 — отвод грязной промывной воды;
 6 — подача воды на промывку; 7 — подача воздуха

Рисунок Б.7 — Открытый двухсекционный скорый фильтр без желобов:
 а — во время фильтрования;
 б — во время промывки

Б.3.6 Площадь живого сечения каналов определяют из условия, что расход воды в каждом из боковых каналов составляет 25 %, в центральном — 50 % от промывного расхода фильтра.

Б.3.7 Удельную производительность компрессора для нагнетания воздуха в воду $Q_{\text{комп}}$, л/м³, определяют по формуле (6.3):

$$Q_{\text{комп}} = \frac{(6,0 - 0) \cdot 5 \cdot 3}{1,43} = 63.$$

Полная производительность компрессора $Q_{\text{комп}}^{\text{полн}}$, м³/ч, для данной станции обезжелезивания составит:

$$Q_{\text{комп}}^{\text{полн}} = \frac{Q_{\text{комп}}}{1000} \cdot q_{\text{ст}} = 0,063 \cdot 900 = 56,7.$$

Приложение В (рекомендуемое)

Пример расчета напорной установки обезжелезивания и обезмарганцевания воды

В.1 Производительность установки — $864 \text{ м}^3/\text{сут}$ ($36 \text{ м}^3/\text{ч}$). Качество воды характеризуется следующими показателями: железо — $1,3 \text{ мг/л}$, марганец — $0,45 \text{ мг/л}$, свободная углекислота — 23 мг/л , рН — $7,65$, Eh — 290 мВ , окисляемость — $3,8 \text{ мг/л}$, щелочность — $3,2 \text{ ммоль/л}$.

В.2 В соответствии с рекомендациями, полученными на основании результатов технологических исследований, для обезжелезивания и обезмарганцевания воды предусмотрен напорный двухступенчатый фильтр, смонтированный в одном корпусе, с напорным аэратором для обогащения воды кислородом воздуха (рисунок В.1). В качестве фильтрующей загрузки предусмотрен кварцевый песок с крупностью зерен для первой ступени фильтрования от $1,0$ до $1,6 \text{ мм}$ и высотой слоя $1,5 \text{ м}$; для второй — крупностью зерен от $0,7$ до $1,2 \text{ мм}$ и высотой слоя $1,2 \text{ м}$.

Рекомендуемая скорость фильтрования — $11,5 \text{ м/ч}$, продолжительность пребывания воды в аэраторе — $1,5 \text{ мин}$.

В.3 Потребность в воздухе для окисления железа и марганца определяют по результатам исследований непосредственно у источника водоснабжения, исходя из чего определяют производительность компрессора.

В.4 Высота аэратора принимается равной 3 м , при продолжительности пребывания воды в нем t_k , равном $1,5 \text{ мин}$, его вместимость W_a , м^3 , составит:

$$W_a = \frac{qt_k}{60} = \frac{36 \cdot 1,5}{60} = 0,9.$$

Площадь аэратора составит: $A_a = \frac{W_a}{H_a} = \frac{0,9}{3} = 0,3 \text{ м}^2$, исходя из чего его диаметр принимается

$D_a = 0,6 \text{ м}$.

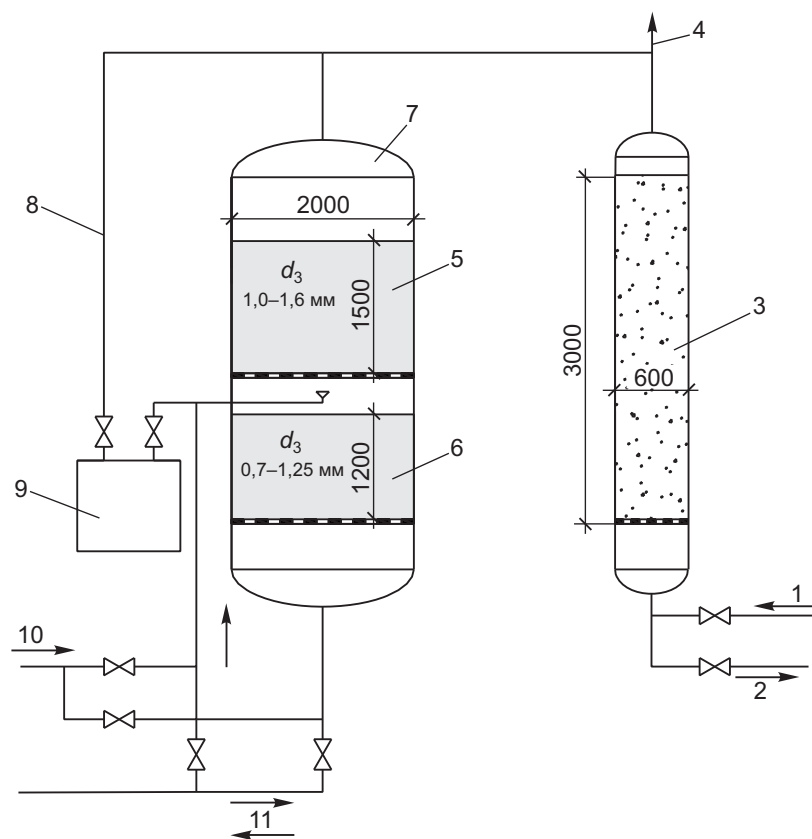
В.5 Площадь фильтрования $A_{\text{ф}}$, м^2 , определяют, исходя из рекомендуемой скорости фильтрования $v_{\text{ф}} = 11,5 \text{ м/ч}$, а также расхода установки $q = 36 \text{ м}^3/\text{ч}$.

$$A_{\text{ф}} = \frac{q}{v_{\text{ф}}} = \frac{36}{11,5} = 3,13.$$

Принимается напорный фильтр диаметром 2 м с площадью фильтрования $3,14 \text{ м}^2$.

В.6 Дренажная система принята в виде водопроницаемого днища из пористого полимербетона.

Промывка фильтрующих загрузок предусматривается водой поочередно для каждой ступени фильтрования со скоростью: 50 м/ч — для первой и 43 м/ч — для второй ступени и продолжительностью соответственно 7 и 5 мин (точные параметры промывки устанавливают при эксплуатации).



- 1 — сжатый воздух; 2 — исходная вода; 3 — аэратор; 4 — вантуз; 5 — фильтр обезжелезивания;
 6 — фильтр обезмарганцевания; 7 — корпус двухступенчатого фильтра;
 8 — трубопровод шламовых вод; 9 — коллектор отвода воды после промывки;
 10 — воздух на промывку; 11 — вода на промывку/отвод фильтрата

Рисунок В.1 — Установка обезжелезивания и обезмарганцевания воды

Приложение Г (справочное)

Пример расчета срока эксплуатации водозабора с обезжелезиванием в водоносном пласте

Г.1 Объем азрированной воды, вводимый в закачные скважины, обычно соответствует суточной производительности скважины $Q_{\text{ср}}$, м³. При условии, что только 10 % объема пор, которые наполнены $Q_{\text{ср}}$, подвержены кольматации соединениями железа и марганца, этот объем составит, м³:

$$W = 0,1 Q_{\text{ср}}. \quad (\text{Г.1})$$

При предположении, что скважина выйдет из строя, если 50 % этого объема (т. е. 50 % от общего объема пор окислительной зоны) будут закольматированы, а плотность железистого осадка составит ρ , т/м³, то до остановки скважины выпадет следующее его количество, т:

$$m = 0,5 \cdot 0,1 Q_{\text{ср}} \rho \quad (\text{Г.2})$$

$$\text{или } m = 0,05 Q_{\text{ср}} \rho.$$

Г.2 Годовое количество выпадающего осадка в сутки M , т/год, при известном содержании железа, мг/л (г/м³), составит:

$$M = \frac{Q_{\text{ср}} \cdot 365 \text{Fe}}{10^6}. \quad (\text{Г.3})$$

Срок функционирования водозабора до отказа скважины T , лет, определяют по формуле

$$T = \frac{m}{M} = \frac{0,05 Q_{\text{ср}} \rho}{Q_{\text{ср}} \cdot 365 \cdot \frac{\text{Fe}}{10^6}}. \quad (\text{Г.4})$$

Плотность осадка железа ρ , т/м³, изменяется со временем, при вскрытии скважин были найдены осадки в виде гематита с плотностью $\rho = 5,2$ т/м³. Если принять с запасом $\rho = 2,8$ т/м³, то можно считать, что продолжительность работы водозабора $T = 383,6 \cdot (1/\text{Fe})$. При содержании в воде водозабора железа, равного 3 мг/л, срок эксплуатации водозабора составит 128 лет.

Приложение Д (рекомендуемое)

Примеры расчета реагентной обработки воды

Д.1 Расчет сооружений для известкования воды

Д.1.1 Качество воды характеризуется следующими показателями: содержание железа — 2,3 мг/л, щелочность — 0,82 ммоль/л, pH — 6,5, что не соответствует пределам применимости метода фильтрации с упрощенной аэрацией для обезжелезивания воды.

Предварительными исследованиями установлена необходимая доза извести, равная 11,2 мг/л, обеспечивающая повышение pH и увеличение щелочности воды.

Д.1.2 Принято мокрое хранение извести в виде известковой суспензии 30 %-ной концентрации, поставляемой на станцию автотранспортом в баках-хранилищах. Предусматривается барботирование известковой суспензии сжатым воздухом.

Рабочую суспензию известкового молока с 4 %-ной концентрацией готовят в расходных баках разбавлением 30 %-ной суспензии водой. Для предупреждения осаждения частиц извести предусматривается либо постоянное барботирование воздухом, либо перемешивание с помощью мешалки.

Д.1.3 Потребную вместимость баков-хранилищ известкового молока W_p , м³, определяют по формуле

$$W_p = \frac{QT D_{и}}{10\,000 b_p \rho}, \quad (\text{Д.1})$$

где Q — суточная производительность станции, м³/сут;
 T — продолжительность хранения реагента, принимается 30 сут;
 $D_{и}$ — принятая доза извести, мг/л;
 10 000 — переводной коэффициент;
 b_p — концентрация суспензии, 30 %-ная;
 ρ — плотность суспензии, равная 1,1 т/м³;

таким образом получают:

$$W_p = \frac{22660 \cdot 30 \cdot 10,2}{10\,000 \cdot 30 \cdot 1,1} = 21.$$

Принимаются два бака-хранилища. При глубине баков-хранилищ h равной 2 м их общая площадь $A_{\text{общ}}$ составит 10,5 м², площадь одного бака составит: $A_1 = 10,5/2 = 5,25$ м², размеры в плане — 2×2,65 м² (округленно).

Д.1.4 Вместимость расходных баков W_6 , м³, определяют по формуле

$$W_6 = \frac{q_{\text{ч}} t D_{и}}{10\,000 b_p}, \quad (\text{Д.2})$$

где $q_{\text{ч}}$ — расчетная производительность станции, м³/ч;
 t — время, на которое заготавливают рабочий объем известкового молока; принимают 12 ч;
 b — концентрация известкового молока, 4 %-ная;

$$W_6 = \frac{944,17 \cdot 12 \cdot 10,2}{10\,000 \cdot 4 \cdot 1} = 2,9.$$

Принимаются два переменного действующих бака с расчетной вместимостью 2,9 м³ каждый.

При высоте бака по суспензии 2 м площадь одного бака составит 1,45 м², размеры в плане — 1×1,5 м.

Д.1.5 Для дозирования приготовленного в расходных баках известкового молока в воду предусматриваются насосы-дозаторы типа НД, позволяющие регулировать расход в процессе эксплуатации (изменение длины хода плунжера вручную при остановке насоса).

Производительность насоса-дозатора $q_{\text{н-д}}$, м³/ч, определяют по формуле

$$q_{\text{н-д}} = \frac{q_{\text{ч}} D_{и}}{100 p b_p}, \quad (\text{Д.3})$$

где p — доля активной части СаО (60 %);

$$q_{\text{н-д}} = \frac{944,17 \cdot 10,2}{100 \cdot 60 \cdot 4 \cdot 1} = 0,4.$$

Принимается насос-дозатор марки НД 400/16.

Д.1.6 Барботирование воздухом, предусматриваемое в баках-хранилищах, принимается с удельным расходом воздуха 10 л/(с·м²).

Расход воздуха, м³/мин, составит:

$$Q_{\text{в}} = iAn \cdot \frac{60}{1000}, \quad (\text{Д.4})$$

где i — интенсивность подачи воздуха;
 A — площадь одного бака-хранилища;
 n — количество баков;

$$Q_{\text{в}} = 10 \cdot 5,25 \cdot 2 \cdot \frac{60}{1000} = 6,3.$$

Принимаются две воздухоподводки — одна рабочая, одна резервная.

Д.2 Расчет сооружений реагентного хозяйства для обработки воды перманганатом калия

Д.2.1 Качество воды характеризуется следующими показателями: железо — 1,4 мг/л (в трехвалентной форме — 0,2 мг/л), марганец — 0,3 мг/л, pH — 7,6, растворенная углекислота — 30 мг/л, щелочность — 2,4 ммоль/л, жесткость — 3,5 ммоль/л, окисляемость — 7,1 мг/л, сероводород — 0,2 мг/л; окислительно-восстановительный потенциал — 60 мВ. По остальным химическим, а также бактериологическим показателям вода соответствует требованиям, предъявляемым к воде питьевого назначения.

Д.2.2 Технологическими исследованиями непосредственно у источника водоснабжения установлено, что для достижения требуемого эффекта водоподготовки необходимо использование двухступенчатого фильтрования.

На первой ступени очистки необходимо повысить окислительно-восстановительный потенциал воды на необходимый для окисления аммония уровень. Как показали проведенные опыты, это может быть достигнуто за счет применения интенсивной аэрации и дозированной подачи KMnO_4 . Рекомендуемая доза KMnO_4 составляет 0,7 мг/л. Расход KMnO_4 и подбор насосного оборудования производят из расчета 1,5 мг/л (с запасом из-за непостоянства качественного состава воды).

Д.2.3 Основными элементами блока приготовления KMnO_4 являются: баки для приготовления рабочего раствора KMnO_4 ; устройства для перемешивания раствора, предназначенные для интенсификации процесса растворения; дозировочные насосы; склад реагента.

Расход раствора KMnO_4 , л/с, определяют по формуле

$$q_{\text{п}} = \frac{q_{\text{ч}} D_{\text{п}}}{3600C}, \quad (\text{Д.5})$$

где $D_{\text{п}}$ — доза KMnO_4 , г/м³;

C — концентрация рабочего раствора, г/л.

Концентрацию рабочего раствора KMnO_4 принимают в пределах его 20 %-ной–30 %-ной растворимости при данной температуре. При температуре воды 20 °С концентрация рабочего раствора KMnO_4 составляет 11,3 г/л, а его расход —

$$q_{\text{п}} = \frac{1931,3 \cdot 1,5}{3600 \cdot 11,3} = 0,07 \text{ л/с}.$$

Д.2.4 Раствор KMnO_4 готовят в растворных (они же расходные) баках.

Вместимость баков $W_{\text{р.б}}$, м³, определяют по формуле

$$W_{\text{р.б}} = \frac{q_{\text{ч}} t D_{\text{п}}}{10\,000 b \rho}, \quad (\text{Д.6})$$

где t — продолжительность работы станции, на которую рассчитывают объем раствора KMnO_4 для одного затворения, ч; принимают $t = 12$ ч;

b — концентрация рабочего раствора KMnO_4 в расходных баках, %;

ρ — плотность рабочего раствора KMnO_4 , т/м³;

$$W_{\text{р.б}} = \frac{1931,3 \cdot 12 \cdot 1,5}{10000 \cdot 1,13 \cdot 1} = 3,1.$$

К установке принимают два попеременно работающих расходных бака. Размеры каждого расходного бака — $1,5 \times 1,5 \times 1,5 \text{ м}^3$. Вместимость расходного бака составляет $3,4 \text{ м}^3$.

Д.2.5 Перемешивание рабочего раствора в расходных баках осуществляется компрессором, который подбирают по интенсивности подачи воздуха, равной $4\text{--}5 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$. Принимают два компрессора марки ГСВ-0,6/12 (один рабочий, один резервный).

Для дозирования раствора KMnO_4 принимают насосы-дозаторы (один рабочий, один резервный) марки НД 2,5 160/25.

Узел приготовления и дозирования раствора KMnO_4 размещается в фильтровальном зале станции.

Д.2.6 Суточная потребность KMnO_4 составляет 69,5 кг; месячная потребность — 2085 кг. Доставка KMnO_4 предусматривается в стальных барабанах массой 60 кг. Требуемый месячный запас составляет 35 барабанов.

Хранение запаса KMnO_4 предусматривается на складе реагентов станции водоподготовки.

Приложение Е (рекомендуемое)

Расчет сооружений по обработке промывных вод и обезвоживанию осадка

Е.1 Расчет отстойников

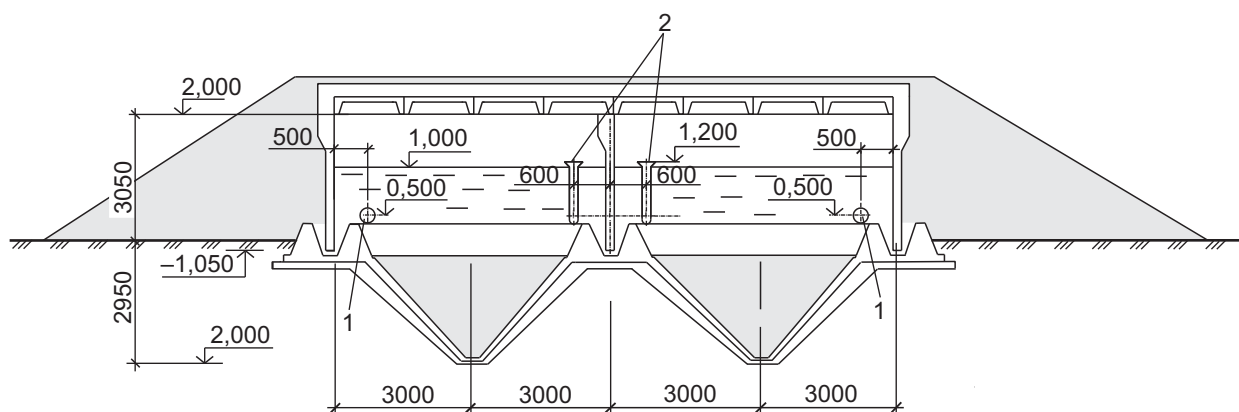
Е.1.1 Расчетная производительность станции с учетом расхода воды на собственные нужды станции составляет 13 250 м³/сут. Для удаления из воды железа, содержание которого составляет 3 мг/л (при наличии трехвалентного железа в количестве 0,4 мг/л), предусмотрено фильтрование с упрощенной аэрацией на шести скорых безнапорных фильтрах, промывка каждого из которых осуществляется 1 раз в 2 сут. В результате исследований, выполненных непосредственно у источника водоснабжения, установлено, что после отстаивания в течение 12 ч осветленная вода с содержанием железа в среднем 6 мг/л может равномерно перекачиваться в голову сооружений с расходом не более 5 % от расхода воды, поступающей на станцию обезжелезивания. В результате этого исходное содержание железа в воде, поступающей на фильтры, увеличится (округленно) на 0,3 мг/л.

Е.1.2 Система оборота промывных вод включает:

- подачу промывных вод от промывки фильтров в отстойники;
- осветление воды в отстойнике;
- перекачку осветленной воды в исходную воду, поступающую на фильтры;
- уплотнение осадка в отстойнике;
- перекачку осадка на шламовые площадки для обезвоживания.

Е.1.3 Отстойники принимаются статические, прямоугольные в плане, с призматическими днищами (рисунок Е.1).

Е.1.4 При продолжительности фильтроцикла 48 ч установлен режим промывок фильтров, при котором ежедневно промываются три фильтра, и так поочередно. Перерыв между промывками трех промываемых за сутки фильтров составляет 8 ч, при этом один отстойник в течение суток принимает промывную воду от промывок двух фильтров, например первого и третьего, а второй — второго фильтра, на следующий день первый отстойник принимает промывные воды от промывки пятого фильтра, а второй — от четвертого и шестого. Цикл работы каждого отстойника, т. е. продолжительность его работы между очередными приемами промывной воды от разных фильтров, принимается равным 16 ч, в которые входят следующие операции: прием промывных вод и их отстаивание (округленно 12 ч) и последующая равномерная перекачка осветленной воды в голову сооружений (4 ч).



1 — сборный трубопровод осветленной воды; 2 — переливные трубопроводы

Рисунок Е.1 — Отстойники оборотного водоснабжения

Е.1.5 Объем отстойника состоит из зон: осветления, защитной и уплотнения осадка.

Объем зоны осветления принимается на 20 % больше расчетного объема воды от одной промывки. Объем защитной зоны определяется из расчета ее высоты, равной 0,8–1,0 м.

Зона уплотнения рассчитывается на прием осадка в течение 14 сут.

Дно секции отстойников должно иметь уклон в 45°–50°.

Высота отстойника составляет от 5 до 6 м. Размеры секций отстойников в плане принимаются 4,5×4,5; 4,5×6 или 6×6 м, отстойники могут быть одно-, двух- или четырехсекционными в зависимости от объема промывных вод от одной промывки фильтра.

Е.1.6 Каждый из отстойников рассчитывается на прием воды от промывки одного фильтра. При скорости промывки 54 м/ч, площади фильтрования 18 м² и продолжительности промывки 6 мин, т. е. 0,1 ч, объем отводимой после промывки фильтра воды в отстойник составляет: $W_{\text{пр}} = 18 \cdot 54 \cdot 0,1 = 97,2 \text{ м}^3$, с учетом 20 %-ного запаса — 116,64 м³. При глубине зоны осветления, равной 2 м, требуемая площадь отстойника составит 58,32 м². Принимаются двухсекционные отстойники с размерами в плане каждой секции 4,5×6,0 м и общими размерами 6×9 м (54 м²). Глубина зоны осветления при этом составит 2,16 м. Между зонами осветления и уплотнения осадка предусматривается также защитная зона высотой 0,8 м.

Е.1.7 Необходимое количество отстойников $N_{\text{отс}}$ определяют по формуле

$$N_{\text{отс}} = \frac{T_{\text{отс}} N_{\text{ф}} n_{\text{пр}}}{T_{\text{ст}}}, \quad (\text{Е.1})$$

где $T_{\text{отс}}$ — расчетное время цикла работы отстойника, ч; принято 16 ч;

$N_{\text{ф}}$ — количество фильтров на станции;

$n_{\text{пр}}$ — число промывок каждого фильтра в сутки;

$T_{\text{ст}}$ — продолжительность работы станции в течение суток, ч, (при круглосуточной работе — 24 ч).

$$N_{\text{отс}} = \frac{16 \cdot 6 \cdot 0,5}{24} = 2.$$

Количество отстойников принимается равным 2.

Е.1.8 Расход перекачиваемой осветленной воды должен составлять не более 5 % от расхода исходной воды, поступающей от насосов первого подъема.

Исходя из этого, определяют продолжительность перекачки осветленной воды из отстойника t_n , ч, и производят подбор насосов перекачки:

$$t_n = \frac{W_{\text{пр}} \cdot 100}{5q_{\text{ч}}}, \quad (\text{Е.2})$$

где $W_{\text{пр}}$ — объем воды от промывки одного фильтра, м³;

$q_{\text{ч}}$ — расчетная производительность станции, м³/ч.

$$t_n = \frac{100,7 \cdot 100}{5 \cdot 552,08} = 3,52 \approx 4 \text{ ч.}$$

Производительность насосов перекачки осветленной воды из отстойника на фильтры q_n , м³/ч, определяют по формуле

$$q_n = \frac{W_{\text{пр}}}{T_n} = \frac{100,7}{4} = 25,175, \quad (\text{Е.3})$$

что составляет $\frac{25,175}{552,08} \cdot 100 \approx 4,6 \%$ от $q_{\text{ч}}$.

Е.1.9 Удаление осадка из зоны уплотнения в зависимости от местных условий может быть гидростатическим или с помощью насосов. Время перекачки осадка рекомендуется принимать 30–40 мин.

Е.1.10 Отстойники оборудуют переливными и спускными трубами. В перекрытиях отстойников предусматривают закрывающиеся люки для спуска в отстойник и установки приборов автоматизации, вентиляционные стояки и отверстия для отбора проб.

В трубах, транспортирующих осадок, должны быть предусмотрены ревизии и возможность их промывки от осевшего осадка.

Е.1.11 Удаление осадка из отстойников на шламовые площадки (1 раз в сутки из каждого отстойника) рекомендуется осуществлять сразу же после перекачки осветленной воды в голову сооружений перед приемом воды после промывки очередного фильтра.

Е.2 Расчет накопителей

Е.2.1 Исходные данные:

- производительность станции обезжелезивания — 10 000 м³/сут;
- состав сооружений для осветления воды — отстойники промывных вод (2 шт.);
- содержание взвешенных веществ в исходной воде (в пересчете на гидроксид железа) — 6,3 мг/л, постоянно в течение года.

Е.2.2 Расчет предусматривается на два варианта:

- накопитель, работающий со сбросом осветленной воды в зимний период под слоем льда;
- накопитель, работающий в зимний период только на прием осадка без сброса осветленной воды.

Е.2.2.1 Расчет вместимости накопителя, работающего со сбросом осветленной воды в зимний период под слоем льда производят следующим образом.

Принимаются две секции накопителя.

Вместимость двух секций накопителя $W_{\text{нак}}$, м³, определяют по формуле (10.1):

$$W_{\text{нак}} = 0,867 \cdot \frac{10\,000}{24} \cdot 6,3 \cdot \left[\frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \right. \\ \left. + \frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-70) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-71) \cdot 1,23} + \frac{1}{(100-72) \cdot 1,22} + \frac{1}{(100-74) \cdot 1,19} + \frac{1}{(100-85) \cdot 1,11} \right] = \\ = 229,5 \cdot (0,026 + 0,026 + 0,026 + 0,026 + 0,026 + 0,027 + 0,028 + 0,030 + 0,033 + 0,06) = 2299,5 \cdot 0,308 = 708,25.$$

Объем накопителя принимается равным 710 м³.

Е.2.2.2 Вместимость накопителя, работающего без сброса осветленной воды в зимний период составит:

— зимний период (ноябрь — март):

$$T_n = 150 \text{ сут}, T_y = 9,5 \text{ мес.}, C_{\text{л-о}} = 6,3 \text{ мг/л};$$

— летний период (июнь — октябрь):

$$T_n = 60 \text{ сут}, T_y = 11 \text{ мес.}, C_{\text{в}} = 6,3 \text{ мг/л};$$

— весенний период (апрель — май):

$$T_n = 60 \text{ сут}, T_y = 11 \text{ мес.}, C_{\text{в}} = 6,3 \text{ мг/л}.$$

Принимаются две секции накопителя.

Е.2.2.3 Объем накопителя, предназначенного для приема осадка десятого года эксплуатации, по характерным периодам года в соответствии с формулой (10.2) составит:

$$W = \frac{QT_n C_{\text{в}}}{10^4 \cdot (100 - P) \cdot \rho};$$

— зимний период

$$W_3 = \frac{10\,000 \cdot 150 \cdot 6,3}{10^4 \cdot (100 - 89,4) \cdot 1,0725} = 83,13 \text{ м}^3;$$

— летне-осенний период

$$W_{\text{л-о}} = \frac{10\,000 \cdot 155 \cdot 6,3}{10^4 \cdot (100 - 81,5) \cdot 1,135} = 46,51 \text{ м}^3;$$

— весенний период

$$W_{\text{л-о}} = \frac{10\,000 \cdot 60 \cdot 6,3}{10^4 \cdot (100 - 80,5) \cdot 1,145} = 16,93 \text{ м}^3.$$

Объем накопителя для приема годового количества осадка десятого года составит:

$$W_{10} = 83,13 + 46,51 + 16,93 = 146,57 \text{ м}^3.$$

Вместимость накопителя $W_{\text{нак}}$, м^3 , определяют по формуле (10.2):

$$W_{\text{нак}} = 10^{-4} \cdot 10\,000 \cdot 365 \cdot 6,3 \cdot \left[\frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-69) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-70) \cdot 1,24} + \frac{1}{(100-71) \cdot 1,23} + \frac{1}{(100-72) \cdot 1,22} + \frac{1}{(100-74) \cdot 1,19} \right] + 146,57 = 716,85.$$

Е.3 Расчет площадок замораживания

Е.3.1 Исходные данные:

- производительность станции обезжелезивания — $10\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- содержание взвешенных веществ — $6,3 \text{ мг/л}$ (по гидроксиду железа).

Характерные периоды года и среднесуточная температура воздуха по месяцам периода устойчивого мороза:

- весенний — апрель, май;
- летне-осенний — июнь, июль, август, сентябрь, октябрь;
- зимний — ноябрь ($-4,1 \text{ }^\circ\text{C}$), декабрь ($-10,4 \text{ }^\circ\text{C}$), январь ($-13,8 \text{ }^\circ\text{C}$), февраль ($-13,2 \text{ }^\circ\text{C}$), март ($-6,8 \text{ }^\circ\text{C}$).

Состав сооружений для осветления воды — два отстойника промывных вод. Длительность на-капливания осадка на площадках замораживания без вывоза — 2 года.

Е.3.2 Расчет годового объема уплотненного осадка на весенних площадках $W_{\text{в}}$, м^3 , и летне-осенних площадках $W_{\text{л-о}}$, м^3 , следует производить по формуле (10.4):

$$W_{\text{в}} = \frac{10\,000 \cdot 61 \cdot 6,3}{10\,000 \cdot (100 - 85) \cdot 1,11} = 23,$$

- где $T_{\text{в}}$ — длительность подачи осадка на весенние площадки, равная 61 сут;
 $P_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{в}}$ — определяют по таблице 10.2 для длительности уплотнения осадка $T_{\text{у}}$ на весенних площадках, равной 6 мес.;

$$W_{\text{л-о}} = \frac{10\,000 \cdot 153 \cdot 6,3}{10\,000 \cdot (100 - 89,4) \cdot 1,075} = 85,$$

- где $T_{\text{л-о}} = 153 \text{ сут}$;
 $T_{\text{у}} = 2,5 \text{ мес.}$

Е.3.3 Годовой объем неуплотненного осадка на зимних площадках, подвергаемых замораживанию $W_{\text{з}}$, м^3 , необходимо определять по формуле (10.7):

$$W_{\text{з}} = \frac{QT_3C_3}{10^4 \cdot (100 - P_3) \cdot \rho_3} = \frac{10\,000 \cdot 151 \cdot 6,3}{10\,000 \cdot (100 - 96,5) \cdot 1,04} = 2,62,$$

- где $T_3 = 151 \text{ сут}$;
 $T_{\text{у}} = 0$;
 $\rho_{\text{в}}$ — по 10.2.4;
 P_3 — по рисунку Е.2.

Е.3.4 Расчетный слой осадка на весенних и летне-осенних площадках перед замораживанием необходимо определять по формуле (10.6) для пяти месяцев устойчивого мороза:

$$\Sigma t = 4,1 \cdot 30 + 10,4 \cdot 31 + 13,8 \cdot 31 + 13,2 \cdot 28 + 6,8 \cdot 31 = 123 + 322 + 428 + 370 + 211 = 1454.$$

$$H_{\text{в,л-о}} = 0,0017 \cdot \sqrt{1454} = 0,65 \text{ м.}$$

Полезную площадь весенних $A_{\text{в}}$, м^2 , и летне-осенних $A_{\text{л-о}}$, м^2 , площадок определяют по формуле (10.5):

$$A_{\text{в}} = \frac{23}{0,65} = 36,$$

$$A_{\text{л-о}} = \frac{85}{0,65} = 131.$$

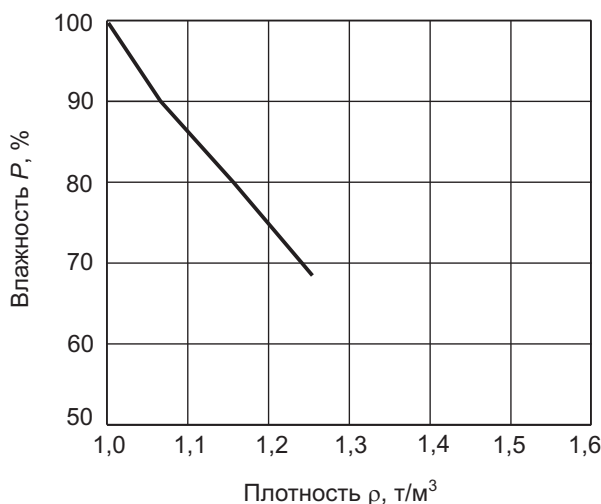


Рисунок Е.2 — Зависимость плотности осадка от его влажности

Е.3.5 Полезную площадь одной секции $A_{з.с}$, м², определяют по формуле (10.8) при условии $W_{сб} = 12$ м³ и расчетный слой осадка $h_{сб}$, м, на секции зимней площадки принимается равным 0,084 м:

$$A_{з.с} = \frac{12}{0,084} = 144.$$

Е.3.6 Число секций зимней площадки определяют по формуле (10.9) при τ , принимаемом по рисунку 10.3 равным 5,5 сут, и периодичности напуска осадка на зимнюю площадку $\Delta\tau$ — 1 раз в 3-е сут:

$$N_{з.с} = \frac{5,5}{3} = 1,83 \approx 2 \text{ площадки.}$$

Е.3.7 Размер площадки — $12 \times 12 = 144$ м². Полезная площадь зимних площадок составит:

$$A_{з.с} = 2 \cdot 144 = 288 \text{ м}^2.$$

Строительную высоту оградительного обвалования весенних площадок $H_{стр.в}$, м, и летне-осенних $H_{стр.л-о}$, м, определяют по формуле (10.10):

$$W_{в} = \frac{10\,000 \cdot 6,1 \cdot 6,3}{10\,000 \cdot (100 - 69) \cdot 1,24} = 1 \text{ м}^3;$$

$$H_{стр.в} = \frac{23}{36} + \frac{(2-1) \cdot 1}{36} + 0,2 = 0,65 + 0,03 + 0,2 = 0,88 \text{ м} \approx 1 \text{ м};$$

$$H_{стр.л} = H_{стр.в} = 1.$$

Строительную высоту оградительного обвалования зимней площадки $H_{стр.з}$, м, определяют для конструктивной схемы площадки (рисунок 10.11) из следующих условий: годовой объем осадка, замораживаемый на зимней площадке, — 262 м³; количество лет накопления осадка на зимней площадке $N = 2$ года; $W_{о.з}$ — годовой объем обезвоженного осадка на зимней площадке, м³, влажностью, принимаемой по таблице 10.1 для длительности уплотнения $T_y = 10$ лет; $\Delta = +0,2$ — для конструктивной схемы 10.1.

$$W_{о.з} = \frac{10\,000 \cdot 151 \cdot 6,3}{10\,000 \cdot (100 - 69) \cdot 1,24} = 24,8 \text{ м}^3;$$

$$H_{стр.з} = \frac{262}{288} + \frac{(2-1) \cdot 24,8}{288} + 0,2 = 0,91 + 0,09 + 0,2 = 1,20 \text{ м.}$$

Общая полезная площадь площадок замораживания $A_{общ}$, м², составляет:

$$A_{общ} = 2A_{в} + A_{л.о} + A_{з} = 2 \cdot 36 + 131 + 288 = 491.$$

Библиография

- [1] Санитарные правила и нормы Республики Беларусь
СанПиН 10-124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
- [2] Санитарные правила и нормы Республики Беларусь
СанПиН 2.1.2.12-33-2005 Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения.
- [3] DIN 19605:1995 Festbettfilter zur Wasseraufbereitung — Aufbau und Bestandteile
(Фильтры для водоподготовки. Конструкция и компоненты)
Неофициальный перевод РУП «Стройтехнорм»
Перевод с немецкого языка (de).
- [4] DIN EN 1017:2008 Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch —
Halbgebrannter Dolomit
(Материалы для подготовки воды питьевого качества. Полуобожженный доломит)
Неофициальный перевод РУП «Стройтехнорм»
Перевод с немецкого языка (de).