

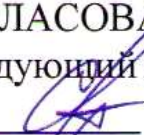
Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

Факультет инженерных систем и экологии

Кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 С. В. Андreyюк

«16» сентября 2022г.

СОГЛАСОВАНО

Декаан факультета

 А. А. Волчек

«16» 12 2022 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«ВОДОПОДГОТОВКА»**

для специальности:

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Составители: Г.А. Волкова – доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ, канд. техн. наук, доцент,
Н.Ю. Сторожук – старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета университета 29.12.2022 г.,
протокол № 3 .

рег. в УМК 22/23-33

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ

Электронный учебно-методический комплекс содержит:

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Конспект лекций по дисциплине «Водоподготовка»

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Материалы для практических занятий по дисциплине «Водоподготовка»

2.2. Материалы для лабораторных работ по дисциплине «Водоподготовка»

2.3 Требования и рекомендации к выполнению курсового проекта

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1 Вопросы к экзамену по учебной дисциплине «Водоподготовка»

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1 Учебная программа дисциплины «Водоподготовка»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели ЭУМК

- повышение эффективности образовательного процесса специальности 1- 70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» по дисциплине «Водоподготовка»;
- внедрение перспективных технологий хранения и передачи информации в электронном виде.
- обеспечение открытости и доступности образовательных ресурсов путем размещения ЭУМК в локальной сети университета.

Структура ЭУМК

содержит теоретический, практический, вспомогательный раздел и раздел по контролю знаний студентов.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

Необходим IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации.

Введение

Актуальность изучения дисциплины

Системы водоснабжения и водоотведения представляют собой комплекс сетей, сооружений и устройств, оснащенных сложным оборудованием. Инженерная дисциплина «Водоподготовка» – одна из профилирующих для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», в которой изучаются современные методы проектирования и расчета водопроводных очистных сооружений. В связи с этим изучение дисциплины «Водоподготовка» является актуальным и необходимым условием подготовки высококвалифицированных инженерных кадров в области проектирования, строительства и технической эксплуатации сетей и сооружений, устройств и оборудования систем водоснабжения и водоотведения.

Цель и задачи дисциплины

Целью преподавания учебной дисциплины является обучение будущих специалистов теоретическим основам процессов корректировки качества природных вод с целью использования их в системах коммунального водоснабжения. Студенты должны изучить область применения, назначение, принцип действия и физико-химические основы работы сооружений водоподготовки, овладеть теоретическими основами их расчета и проектирования.

В результате изучения учебной дисциплины студенты должны развить навыки в решении проблем проектирования и эксплуатации сооружений водоподготовки, приобрести глубокие знания по вопросам механизма течения процессов водоподготовки при кондиционировании качества природных вод.

Специалист, освоивший содержание образовательной программы по специальности, должен обладать следующими базовыми профессиональными компетенциями в соответствии с ОСВО 1-70 04 03-2019:

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- требования, предъявляемые к качеству питьевой и технической воды;
- физико-химические основы процесса коагуляции примесей природных вод;
- теоретические основы процесса смешения реагентов с водой;
- теоретические основы процесса осветления воды осаждением;
- теоретические основы осветления примесей воды в слое взвешенного осадка;

- теоретические основы фильтрования и контактной коагуляции;
- современные технологии обеззараживания поверхностных и подземных вод;

- методы дезодорации воды;
- методы удаления из воды железа и марганца;
- технологии фторирования и обесфторивания воды;

уметь:

- выбирать методы обработки воды и разрабатывать технологические схемы для источников водоснабжения различного качества и в зависимости от требований потребителя; определять полную производительность водоочистных станций, разрабатывать высотную схему движения воды по сооружениям;

- производить расчеты сооружений блока реагентного хозяйства, определять оптимальные дозы реагентов, обладать навыками проектирования и технологического расчета всех сооружений технологической схемы;

- составлять компоновочный план здания водоподготовки, генплан площадки очистных сооружений;

- совершенствовать свои знания и навыки в процессе профессиональной деятельности на основе самостоятельного изучения научно-технических достижений в области технологии очистки природных вод;

владеть:

- навыками использования в своей деятельности технических нормативных правовых актов (ТНПА);

- приемами оформления проектной изыскательской документации;

- основами современных методов проектирования и расчета сооружений водоподготовки;

- навыками использования полученных данных в профессиональной деятельности.

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующих компетенций:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

- АК-4. Уметь работать самостоятельно.

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

- СЛК-4. Уметь работать в команде.
- ПК-2. Разрабатывать технические задания на проектируемый объект с учетом результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.
- ПК-10. Использовать проект объекта и техническую документацию, проводить строительно-монтажные работы в соответствии с правилами и нормами.

Виды, объем учебных занятий и самостоятельной работы в соответствии с учебным планом дисциплины

Согласно учебному плану для очной формы получения высшего образования на изучение учебной дисциплины отведено всего 240 ч., из них аудиторных – 98 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено в таблице 1.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	6	48	16	34	курсовой проект, экзамен

Перечень дисциплин, знание которых необходимо для изучения курса:

«История развития систем водоснабжения и водоотведения», «Прикладная химия», «Химия воды и микробиология», «Механика жидкости и газа», «Насосные и воздухоудувные станции».

Для закрепления теоретического материала предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий по ключевым темам, выполнение курсового проекта.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы научно-методического обеспечения образования и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» дневной и заочной форм получения образования по изучению дисциплины «Водоподготовка».

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 26 июля 2011 г., № 167, и

предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Водоподготовка» для специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». ЭУМК разработан в полном соответствии с утвержденной учебной программой по учебной дисциплине «Водоподготовка».

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательным стандартам высшего образования специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», а также учебно-программной документации образовательных программ высшего образования. Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

Практический раздел ЭУМК содержит материалы в виде методических рекомендаций для выполнения практических, лабораторных занятий и курсового проекта по дисциплине.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы для итоговой аттестации (вопросы к экзамену), позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Вспомогательный раздел включает учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Водоподготовка».

1.1 Конспект лекций по дисциплине «Водоподготовка»

Тема 1. Природные воды и требования, предъявляемые к их качеству.

Характеристика источников водоснабжения. Требования к качеству очищенных вод.

..... 10

1.1. Характеристика источников водоснабжения 10

1.2. Требования к качеству очищенных вод 10

Тема 2. Выбор технологических схем водоочистки и их классификации 13

2.1. Принципы выбора основных методов и сооружений водоподготовки 13

Применяемые сооружения 13

Реагентное хозяйство для растворов реагентов и их дозирования; смесители; камеры хлопьеобразования; отстойники или осветлители со слоем взвешенного осадка; фильтры; флотаторы с устройствами для сатурирования воды; 13

2.2. Выбор технологических схем подготовки поверхностных вод для питьевых целей .. 14

2.3. Выбор технологических схем кондиционирования подземных вод 15

Тема 3. Коагулирование примесей воды 17

3.1. Физико-химические основы процесса коагуляции 17

3.2. Характеристика коагулянтов и флокулянтов, применяемых при водоподготовке 19

Тема 4. Хранение, приготовление, дозирование растворов реагентов 22

4.1. Определение доз реагентов (коагулянта, флокулянта, подщелачивающего реагента) 22

4.2. Растворные, расходные и растворно-расходные баки для приготовления раствора коагулянта 23

4.3. Приготовление и дозирование раствора флокулянта 26

4.4. Приготовление и дозирование подщелачивающего реагента 27

Тема 5. Смешение реагентов с водой 29

5.1. Теоретические основы процесса смешения реагентов с водой, классификация смесительных устройств 29

5.2. Смешение растворов реагентов в трубопроводе. Смеситель эжекторного типа 29

5.3. Шайбовые смесители 32

5.4. Конструкция вертикального (вихревого) смесителя, расчёт и нормы проектирования 33

5.5. Конструкция дырчатого смесителя, расчёт и нормы проектирования 34

5.6. Конструкция перегородчатого смесителя, расчёт и нормы проектирования 35

5.7. Конструкция коридорного смесителя, расчёт и нормы проектирования 35

5.8. Конструкция механического смесителя, расчёт и нормы проектирования 36

Тема 6. Камеры хлопьеобразования в системах водоподготовки 38

6.1. Конструкция перегородчатой камеры хлопьеобразования с вертикальной циркуляцией воды, расчёт и нормы проектирования 38

6.2. Конструкция перегородчатой камеры хлопьеобразования с горизонтальной циркуляцией воды, расчёт и нормы проектирования 39

6.3. Конструкция вихревой камеры хлопьеобразования, расчёт и нормы проектирования 40

6.4. Конструкция контактной камеры хлопьеобразования, расчёт и нормы проектирования 41

6.5. Конструкция водоворотной камеры хлопьеобразования, расчёт и нормы проектирования 42

6.6. Конструкция камеры хлопьеобразования зашламленного типа (со слоем взвешенного осадка), расчёт и нормы проектирования.....	44
Тема 7. Сооружения и установки для безреагентной очистки воды.....	46
7.1. Сетчатые фильтры. Конструкции. Основные технические характеристики, область применения, методика проектирования	46
7.2. Барабанные сетки и микрофильтры.....	48
7.3. Осветление воды в гидроциклонах. Основы процесса, конструкции аппаратов	49
Тема 8. Осветление воды осаждением.....	52
8.1. Теоретические основы процесса осаждения взвеси	52
8.2. Технологическое моделирование процесса осаждения	53
8.3. Конструкции отстойников, область их применения, проектирование и расчет.....	55
Тема 9. Осветление воды в слое взвешенного осадка.....	57
9.1. Конструкция осветлителя со слоем взвешенного осадка	57
9.2. Теоретические основы процесса осветления воды в слое взвешенного осадка.....	58
Тема 10. Осветление воды фильтрованием.....	60
10.1. Классификация фильтров.....	60
10.2. Конструкция и проектирование скорого безнапорного осветлительного фильтра с боковым сборным карманом (каналом).....	61
10.3. Конструкция и проектирование скорого безнапорного осветлительного фильтра с центральным сборным карманом (каналом).....	64
10.4. Теоретические основы фильтрования воды через зернистые материалы (теория фильтрования Д. М. Минца).....	65
10.5. Оптимизация режима фильтрования	68
10.6. Конструкция и проектирование напорных вертикальных и горизонтальных фильтров	68
10.7. Скорый напорный фильтр с колпачковым дренажем	70
10.8. Скорый напорный фильтр с трубчатым дренажем.....	71
10.9. Сущность теории промывки фильтров, разработанная Д.М. Минцем и С.А. Шубертом	72
10.10. Крупнозернистые (грубозернистые) фильтры.....	74
10.11. Скорые двухпоточные фильтры АКХ (фильтры академии коммунального хозяйства)	74
10.12. Двухслойные фильтры	75
10.13. Сверхскоростные фильтры	77
10.14. Медленные фильтры.....	78
10.15. Намывные фильтры	81
10.16. Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ)	83
Тема 11. Осветление воды контактной коагуляцией.	86
11.1. Теоретические основы контактной коагуляции	86
11.2. Конструкция и проектирование контактного осветлителя КО-1.....	87
11.3. Конструкция и проектирование контактного осветлителя КО-3 с пескоулавливающим желобом	88
11.4. Конструкция и проектирование контактного фильтра КФ-5.....	89
Тема 12. Обеззараживание поверхностных и подземных вод.....	91
12.1. Основные виды патогенной микрофлоры. Контроль процесса обеззараживания воды.....	91
12.2. Классификация методов обеззараживания питьевой воды.	92
12.3. Характеристика хлорсодержащих реагентов, применяемых для обеззараживания ..	92
12.4. Химизм хлорирования воды газообразным хлором. Хлорпоглощаемость.....	94
Тема 13. Обеззараживание воды хлорированием, озонированием и другими методами	97

13.1. Технологические схемы хлорирования питьевой воды.....	97
13.2. Обеззараживание воды озонированием. Область применения.....	98
13.3. Основы процесса озонирования. Установки для озонирования питьевой воды.....	99
13.4. Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением.....	101
13.5. Обеззараживание воды ультразвуковыми колебаниями.....	102
Тема 14. Дезодорация воды (удаление из воды органических веществ, привкусов и запахов).....	104
14.1. Классификация методов дезодорации.....	104
14.2. Удаление органических веществ окислением и сорбцией активным углём в виде порошка.....	104
14.3. Удаление органических веществ окислением с последующим фильтрованием через сорбционные фильтры.....	106
Тема 15. Обезжелезивание воды.....	108
15.1. Формы содержания железа в подземных и поверхностных источниках водоснабжения.....	108
15.2. Обезжелезивание методом упрощенной аэрации с последующим фильтрованием через зернистую загрузку осветлительных фильтров.....	109
15.3. Обезжелезивание методом глубокой аэрации (с применением градирни) с последующим фильтрованием через зернистую загрузку осветлительных фильтров.....	110
15.4. Безреагентные методы обезжелезивания: фильтрование на каркасных (патронных) фильтрах; метод «сухого» фильтрования.....	111
15.5. Обезжелезивание и деманганация воды методом фильтрации в подземных условиях (в пласте) – метод Виредокс.....	113
15.6. Реагентные методы обезжелезивания подземных вод (обработка окислителями, фильтрование воды через модифицированную загрузку).....	115
Тема 16. Деманганация воды.....	118
16.1. Методы удаления марганца из подземной воды.....	118
Тема 17. Фторирование и обесфторивание воды.....	120
17.1. Фторирование воды. Реагенты, применяемые для фторирования.....	120
17.2. Методы обесфторивания воды.....	120
Тема 18. Сооружения для повторного использования промывных вод после фильтров. Обработка осадков водопроводных станций.....	121
18.1. Обработка промывных вод и осадка станций водоподготовки.....	121
18.2. Сооружения по обработке промывных вод и обезвоживанию осадка станции обезжелезивания.....	122

Тема 1. Природные воды и требования, предъявляемые к их качеству. Характеристика источников водоснабжения. Требования к качеству очищенных вод.

#Теоретический раздел

1.1. Характеристика источников водоснабжения

Источниками водоснабжения населённых пунктов, промышленных предприятий и сельского хозяйства являются:

- подземные (верховодка, грунтовые, межпластовые, артезианские, трещинные, карстовые);
- поверхностные (реки, озёра, моря, водохранилища);
- атмосферные осадки.

По содержанию взвешенных веществ (мутности) поверхностные воды подразделяются:

- маломутные (мутность до 50 мг/л);
- средней мутности (50-250 мг/л);
- мутные (250-1500 мг/л);
- высокомутные (более 1500 мг/л).

По цветности (содержание гумусовых, органических веществ):

- малоцветные (цветность до 35 градусов);
- средней цветности (35-120 градусов);
- высокой цветности (более 120 градусов).

По содержанию солей (по степени минерализации):

- очень малой минерализации (солесодержание **P** менее 100 мг/л);
- малой минерализации (100-200 мг/л);
- средней (200-500 мг/л);
- повышенной (500-1000 мг/л);
- высокой (более 1000 мг/л);

Для подземных вод характерно значительное содержание минеральных солей и небольшое, по сравнению с поверхностными, содержание органических веществ. В подземных водах содержится Fe^{2+} и Mn^{2+} (марганец), которые устойчивы в водных растворах при отсутствии окислителей. В поверхностных водах содержится в виде коллоидных и тонкодисперсных смесей.

Наличие в воде органических веществ и некоторых легкоокисляющихся неорганических (H_2S , Fe^{2+}) вызывает окисляемость воды. Окисляемость – это количество кислорода, мг/л, которое расходуется на окисление содержащихся в воде веществ. Окисляемость чистых озёрных вод 5,0–8,0 мг/л; в речной воде 60 мг/л и более, в болотных водах – 400 мг/л.

1.2. Требования к качеству очищенных вод

Качество воды, подаваемой в систему питьевого водоснабжения, должно отвечать гигиеническим требованиям СанПиН 10–124 РБ 99 « Санитарные правила и нормы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды

централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», Минздрав РБ, Минск, 1999.

Согласно п. 4.3 СанПиН, безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, представленным в таблице 1:

Таблица 1

Наименование показателя	Единица измерения	Норматив
Термотолерантные колиформные бактерии ¹⁾	Число бактерий в 100 см ³	Отсутствие
Общие колиформные бактерии ^{1), 2)}	Число бактерий в 100 см ³	Отсутствие
Общее микробное число ²⁾	Число образующих колонии бактерий в 1 см ³	Не более 50
Колифаги ³⁾	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 см ³	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий ⁴⁾	Число спор в 20 см ³	Отсутствие
Цисты лямблий ³⁾	Число цист в 50 дм ³	Отсутствие

Нормативы обобщенных показателей и наиболее распространенных химических веществ в питьевой воде определяют по таблице 2

Таблица 2

Наименование показателя	Единица измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК), не более	Показатель вредности ¹⁾	Класс опасности
Обобщенные показатели				
Водородный показатель	единицы рН	в пределах 6-9		
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/дм ³	1000 (1500) ²⁾		
Жесткость общая	ммоль/дм ³	7,0 (10) ²⁾		
Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	5,0		
Нефтепродукты, суммарно	мг/дм ³	0,1		
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	мг/дм ³	0,5		

Фенольный индекс	мг/дм ³	0,25		
Неорганические вещества				
Алюминий (Al- ³⁺)	мг/дм ³	0,5	с.-т.	2
Барий (Ba ²⁺)	мг/дм ³	0,1	с.-т.	2
Бериллий (Be ²⁺)	мг/дм ³	0,0002	с.-т.	1
Бор (В, суммарно)	мг/дм ³	0,5	с.-т.	2
Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3 (1,0) ²⁾	орг.	3
Кадмий (Cd, суммарно)	мг/дм ³	0,001	с.-т.	2
Марганец (Mn, суммарно)	мг/дм ³	0,1 (0,5) ²⁾	орг.	3
Нитраты (по NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	45	с.-т.	3
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	500	орг.	4
Фториды (F ⁻)	мг/дм ³	1,5	с.-т.	2
Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	350	орг.	4

Согласно п.4.4.5. СанПиН 10-124, при обнаружении в питьевой воде нескольких химических веществ, относящихся к 1 и 2 классам опасности и нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности, сумма отношений обнаруженных концентраций каждого из них в воде к величине его ПДК не должна быть больше 1. Расчет ведется по формуле

$$\frac{C^1_{\text{факт.}}}{C^1_{\text{доп.}}} \pm \frac{C^2_{\text{факт.}}}{C^2_{\text{доп.}}} \pm \dots \pm \frac{C^n_{\text{факт.}}}{C^n_{\text{доп.}}} \leq 1,$$

где C¹, C², Cⁿ – концентрации индивидуальных химических веществ 1 и 2 класса опасности: факт, (фактическая) и доп. (допустимая).

Согласно п.4.5. Благоприятные органолептические свойства воды определяются ее соответствием нормативам, указанным в таблице 4:

Таблица 4

Наименование показателя	Единица измерения	Норматив, не более
Запах	баллы	2
Привкус	баллы	2
Цветность	градусы	20 (35)
Мутность	ЕМФ (единицы мутности по формазину) или мг/л (по коалину)	2,6 (3,5) 1,5 (2)

Тема 2. Выбор технологических схем водоочистки и их классификации

#Теоретический раздел

2.1. Принципы выбора основных методов и сооружений водоподготовки

Основные методы и сооружения водоподготовки предварительно принимаются по таблице А.1 Приложения А Пособия П1-2019 к ТКП 45-4.01-320-2018 (далее, Пособие П1) в зависимости от показателей качества воды, фазово-дисперсного состояния примесей, подлежащих удалению, их концентрации, требований к степени очистки и уточняются на основании данных инженерных изысканий, выполняемых на исходной воде непосредственно у источника водоснабжения.

Таблица А.1– Выбор основных методов и сооружений водоподготовки

Показатели качества воды	Метод водоподготовки	Применяемые сооружения
Мутность	Обработка воды коагулянтами с применением флокулянтов и последующим отстаиванием или осветлением в слое взвешенного осадка, и последующим фильтрованием; флотация и фильтрование.	Реагентное хозяйство для растворов реагентов и их дозирования; смесители; камеры хлопьеобразования; отстойники или осветлители со слоем взвешенного осадка; фильтры; флотаторы с устройствами для сатурирования воды;
Цветность, повышенное содержание органических веществ и планктона	Предварительная обработка воды окислителями (озон, перманганат калия и др.) с последующим коагулированием и флокулированием. Отстаивание, осветление в слое взвешенного осадка; фильтрование. Микрофильтрование.	Озонаторы; контактные камеры; реагентное хозяйство для растворов реагентов и их дозирования; смесители; камеры хлопьеобразования; отстойники или осветлители; фильтры; флотаторы с устройствами для сатурирования воды; фильтры; микрофильтры;
Низкая щелочность, затрудняющая коагулирование	Подщелачивание	Реагентное хозяйство для хранения подщелачивающих реагентов, приготовления суспензий (растворов) и дозирования их в обрабатываемую воду;
Привкус, запах	Углевание. Предварительное озонирование. Обработка перманганатом калия.	Реагентное хозяйство для хранения активированного угля, приготовления его пульпы и дозирования в обрабатываемую воду; озонаторы, контактные камеры; реагентное хозяйство перманганата калия, устройства для его дозирования;

Нестабильность с отрицательным индексом насыщения (коррозионная)	Подщелачивание. Фосфатирование.	Реагентное хозяйство для извести, соды, триполифосфата или гексаметафосфата натрия, дозаторы;
Нестабильность с положительным индексом насыщения	Подкисление. Фосфатирование.	Реагентное хозяйство для кислот (серной, соляной), гексаметафосфата или триполифосфата натрия, дозаторы;
Микробиологические и паразитологические показатели	Хлорирование. Озонирование. Бактерицидное излучение.	Склад хлора, хлораторные; склад соли, электролизеры, дозаторы раствора гипохлорита натрия; реагентное хозяйство для хлорной извести, дозаторы. Устройства для получения диоксида хлора с соответствующим реагентным хозяйством, хлораторные; озонаторные и контактные камеры; бактерицидные лампы.
Избыток железа и марганца	Аэрация с последующим фильтрованием; сухая фильтрация. Двухступенчатое фильтрование. Обезжелезивание и обезмарганцевание подземных вод в водоносном пласте. Биологическое удаление железа и марганца. Подщелачивание. Коагулирование. Обработка окислителями.	Аэраторы различной конструкции, фильтры (напорные или безнапорные); «сухие» фильтры. Двухступенчатые фильтры (в напорном, безнапорном или смешанном вариантах). Реагентное хозяйство, дозаторы. отстойники, осветлители, контактные резервуары; фильтры
Высокая жесткость	Декарбонизация. Известково-содовое умягчение. Ионный обмен.	Реагентное хозяйство для извести, соды. Смесители, вихревые реакторы, осветлители и отстойники специальных конструкций. Скорые фильтры. Ионообменные фильтры.
Газы и летучие органические соединения, придающие воде неприятные привкусы и запахи	Аэрирование, дегазация	Аэраторы и дегазаторы различных типов; брызгальные бассейны
<i>Примечание</i> — При обосновании, для обработки воды допускается применять методы и сооружения, не указанные в таблице, но обеспечивающие технологический процесс.		

2.2. Выбор технологических схем подготовки поверхностных вод для

питьевых целей

Выбор сооружений для осветления и обесцвечивания поверхностных вод следует осуществлять по таблице А2 (Приложения А Пособия П1).

Таблица А.2– Сооружения для осветления и обесцвечивания поверхностных вод

Основные сооружения	Условия применения		Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность, мг/дм ³ , не более	Цветность, град, не более	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов			
1 Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование):			
напорные	30	50	До 30 000
открытые	20	50	“ 50 000
2 Вертикальные отстойники — скорые фильтры	1500	120	“ 5000
3 Горизонтальные отстойники — скорые фильтры	1500	120	Св. 30 000
4 Двухступенчатое фильтрование: крупнозернистые фильтры — скорые фильтры	300	120	Любая
5 Осветлители со взвешенным осадком — скорые фильтры	1500	120	Св. 5000
	150	200	До 30 000
	1000	120	“ 800
	1500	50	“ 5000

2.3. Выбор технологических схем кондиционирования подземных вод

Согласно п. 16.1.1 Пособия П1, для удаления железа и марганца из подземных вод предусматривают применение безреагентных и реагентных методов, по таблице А1 Пособия П1.

При применении безреагентных методов предусматривают предварительную аэрацию и последующее одно- или двухступенчатое фильтрование через химически инертные и/или щелочные, активные фильтрующие загрузки.

Согласно п.16.1.5 Пособия П1, обезжелезивание подземных вод, содержащих железо в двухвалентной форме и не содержащих кислород (или содержащих его в небольших концентрациях), в большинстве случаев следует предусматривать фильтрованием с предварительной аэрацией (упрощенной или интенсивной).

При применении реагентных методов предусматривают предварительную аэрацию, ввод реагентов, коагулирование, отстаивание или осветление в слое взвешенного осадка, с последующим фильтрованием.

Технологические схемы установок обезжелезивания и обезмарганцевания воды и параметры их работы принимают на основании результатов инженерных изысканий, непосредственно выполненных на воде, забираемой из источников водоснабжения, для которых производится проектирование.

Тема 3. Коагулирование примесей воды

#Теоретический раздел

3.1. Физико-химические основы процесса коагуляции

Коагуляцией примесей воды называется процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частиц дисперсной системы, происходящий в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. Завершается этот процесс отделением агрегатов слипшихся частиц от жидкой фазы осаждением. Диспергированные, коллоидные и взвешенные частицы примесей природных вод (ила, глины) в большинстве случаев имеют одинаковый заряд, поэтому между частицами возникают межмолекулярные силы отталкивания, а это объясняет агрегативную устойчивость всей системы. Такая система, в которой почти все частицы несут одинаковый заряд, называется агрегативно-устойчивой. В технологии очистки воды предусматривают удаление примесей, поэтому агрегативную устойчивость частичек стремятся нарушить, а заряд их устранить или снизить до очень малых значений. При введении в воду химических соединений (коагулянтов) агрегативная устойчивость взвешенных частиц нарушается. Это происходит в результате следующего:

- снижается заряд частиц;
- на частицах загрязнений (ила, глины) сорбируются коллоидные частицы.

Процесс коагулирования связан с адсорбцией на коллоидных частичках примесей, содержащихся в воде. При введении в воду коагулянта (например, $FeCl_3$), происходит гидролиз соли $FeCl_3$, в результате чего образуется **мицелла золя** $Fe(OH)_3$ (см. рис.3.1).

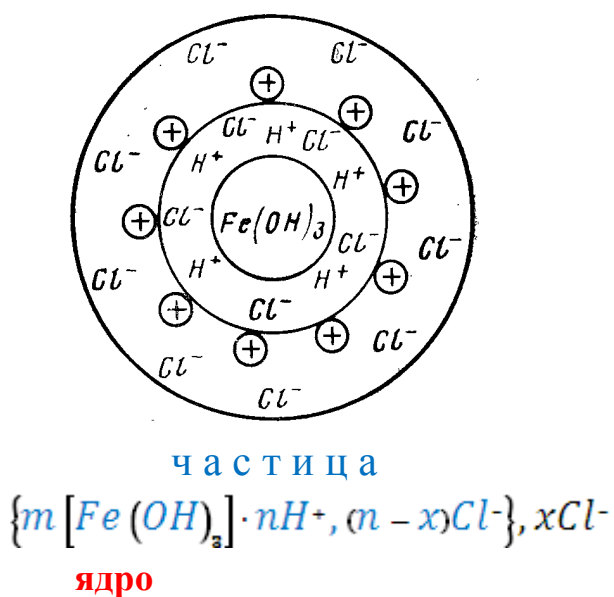


Рис. 3.1 – Схематическое изображение мицеллы золя гидроксида железа $Fe(OH)_3$ с положительно-заряженной частицей

Как видно из рисунка 1, мицелла золя $Fe(OH)_2$ состоит из ядра, образованного молекулами $m [Fe(OH)_2]$, адсорбционно-связанных с ним потенциалобразующих водородных ионов nH^+ (прилегающих непосредственно к ядру) и некоторого количества ионов хлора $(n-x)Cl^-$, меньшего, чем количество ионов H^+ , в результате чего коллоидная частичка имеет положительный заряд. Ионы H^+ и входящие в состав частички противоионы Cl^- образуют двойной электрический слой, примыкающий к ядру. Отдельные ионы хлора xCl^- образуют диффузный слой, и вместе с частицей составляют мицеллу золя $Fe(OH)_2$.

Противоионы Cl^- приближаются к потенциалобразующим ионам H^+ вследствие электрического притяжения и образуют вместе с ними коллоидную частицу.

Коллоидная частица вместе с окружающим её диффузным слоем называется мицеллой. Золь – это система, состоящая из коллоидных частиц, распределённых в жидкой или газообразной среде. Если такой средой является вода, то система называется гидрозолем.

Если бы в растворе не было теплового броуновского движения, приводящего к перемещению ионов, то между разноимённо заряжёнными ионами H^+ и Cl^- образовался бы мономолекулярный слой, охватывающий коллоидную частичку на расстоянии ионного радиуса, с потенциалом между разноимённо заряжёнными ионами – термодинамическим потенциалом ε .

В действительности, находясь в состоянии броуновского движения, противоионы диффузного слоя Cl^- отстают или отрываются от гранулы, и частица приобретает электрический заряд.

При наличии теплового броуновского движения на границе ядра и адсорбционного (двойного) слоя образуется термодинамический потенциал ε , он определяется как сумма зарядов всех ионов адсорбционного слоя. На границе между адсорбционным и диффузным слоем термодинамический потенциал ε уменьшается на величину суммы зарядов противоионов Cl^- , и становится равным электрокинетическому потенциалу ξ . Таким образом, частицы с одноимёнными зарядами при взаимодействии отталкиваются друг от друга.

Так как взвешенные частицы природных вод в большинстве случаев несут отрицательный заряд ($-$), то для нарушения агрегативной устойчивости вводят такие вещества, которые имеют положительный заряд ($+$) частиц. Процесс осветления воды идёт лучше при низких значениях рН, при которых заряд вводимых частиц коагулянтов положительный ($+$).

При добавлении к обрабатываемой воде коагулянта первоначально формируются хлопья (в виде цепочек) гидроксидов металлов, которые имеют слабый положительный заряд, большую удельную поверхность. На поверхности сформировавшихся хлопьев коагулянта адсорбируются примеси воды. В свою очередь цепочки коагулянта могут прилипнуть к поверхности крупных примесей. В конечном итоге образуются хлопья-глобулы, при осаждении которых достигается осветление и обесцвечивание воды.

3.2. Характеристика коагулянтов и флокулянтов, применяемых при водоподготовке

Вещества, которые вводят в воду для нарушения агрегативной устойчивости системы, называют коагулянтами. В качестве коагулянтов применяют соли алюминия или железа. Основные характеристики наиболее распространенных реагентов, применяемых в водоподготовке, приведены в таблице Б.1 (Приложение Б) Пособия П1:

Таблица Б.1 — Основные характеристики реагентов

Наименование продукта	Химическая формула основного вещества	Агрегатное состояние товарного продукта коагулянта Плотность (насыпная плотность)	Хранение и дозирование	Типичное содержание действующего вещества в продукте
1	2	3	4	5
Сульфат алюминия ГОСТ 12966	$Al_2(SO_4)_3 \cdot n H_2O$	Гранулы, порошок, Насыпная плотность от 1050 до 1100 кг/м ³	Емкость для сыпучих материалов; ёмкость со шнековым питателем ; кислотостойкий насос;	От 15 % до 16% в пересчете на Al_2O_3
Смесь хлоридов алюминия и железа (III),	$AlCl_3 + FeCl_3$	раствор, 1150 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос;	Al^{3+} - 19 г/кг Fe^{3+} -10 г/кг
Сульфат алюминия и железа (III)	$[Al_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3] n H_2O$	гранулы, Насыпная плотность 950 кг/м ³	Емкость для сыпучих материалов; шнек и кислотостойкий эксцентриковый насос;	Al^{3+} - 82 г/кг Fe^{3+} -10 г/кг
Хлорид железа (II)	$FeCl_2$	раствор, от 1240 до 1370 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос;	Fe^{3+} от 86 до 135 г/кг
Хлорид железа (III), ГОСТ 4147	$FeCl_3$	раствор, от 1410 до 1430 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос;	Fe^{3+} - от 135 до 138 г/кг
Хлорид сульфат железа (III)	$FeClSO_4$	раствор, от 1430 до 1520 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос;	Fe^{3+} - 123 г/кг
Купорос железный технический (сульфат железа (II)),ГОСТ 6981	$FeSO_4 \cdot 7 H_2O$	гигроскопичные гранулы, порошок; Насыпная плотность 1000 кг/м ³	Емкость для хранения гигроскопичных веществ; кислотостойкий насос	Fe^{2+} от 178 до 195 г/кг
Сульфат железа (III)	$Fe_2(SO_4)_3$	раствор, 1500 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий	Fe^{3+} 118 г/кг

			насос;	
Алюминат натрия	NaAl(OH)_4	раствор, от 1300 до 1500 кг/м ³	Емкость; насос	Al^{3+} от 62 до 105 г/кг
Полиалюминат гидроксид хлорид (РАС),	$[\text{Al(OH)}_{3-x}\text{Cl}_x]_n$	раствор, от 1200 до 1370 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос	Al^{3+} от 70 до 90 г/кг
Полиалюминат гидроксид хлорид сульфат	$\text{Al}_x(\text{OH})_y\text{Cl}_z(\text{SO}_4)_k$	раствор, 1400 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос	Al^{3+} от 52 до 90 г/кг
Полиакриламид технический	Сополимер амида и солей акриловой кислоты $(\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CONH}_2))_n$	Гелеобразная вязкая масса от светло-желтого до светло-коричневого цвета. 1030 кг/м ³	Емкость; насос-дозатор	От 5% до 6%
Оксихлорид алюминия («Аурат»)	$[\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	раствор; 1100 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос	20% по Al_2O_3

Для интенсификации процесса коагуляции добавляют специальные вещества – флокулянты. В качестве флокулянтов используют высокомолекулярные органические и минеральные соединения, хорошо растворимые в воде. Они принадлежат к классу линейных полимеров, для которых характерна цепочная форма макромолекул. Молекулярная масса флокулянтов находится в пределах от десятков тысяч до нескольких миллионов. Длина цепочки, состоящей из ряда повторяющихся звеньев, достигает сотни нанометров. В качестве природных флокулянтов используют крахмал, водорослевую крупку, белковые гидролизные дрожжи, картофельную мезгу, жмыхи и др. Наиболее распространенными неорганическими флокулянтами являются активированный силикат натрия (активная кремневая кислота) и активный диоксид кремния ($x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$). Активная кремневая кислота относится к флокулянтам анионного типа. Из синтетических флокулянтов применяют органический полимер полиакриламид (ПАА), который является анионным флокулянтом. Выпускают также флокулянты катионного типа (ВА-2, ВА-3), которые в отличие от флокулянта анионного типа ПАА вызывают образование крупных хлопьев без обработки воды коагулянтами. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, уменьшить продолжительность процесса коагулирования, повысить скорость осаждения образующихся хлопьев.

Механизм действия флокулянтов основан на следующих явлениях: адсорбции молекул флокулянта на поверхности коллоидных частиц, образовании сетчатой структуры молекул флокулянта, слипания коллоидных частиц за счет сил Ван-дер-Ваальса. ПАА образует в воде длинные цепочки вытянутой или изогнутой формы. Из-за такой формы молекулы ПАА адсорбция происходит в разных местах с несколькими частицами гидроксида, в результате чего

последние связываются полимерными мостиками в тяжелые, крупные и прочные хорошо осаждающиеся агрегаты.

Тема 4. Хранение, приготовление, дозирование растворов реагентов

#Теоретический раздел

4.1. Определение доз реагентов (коагулянта, флокулянта, подщелачивающего реагента)

Согласно 9.3 СН 4.01.01-2019, для предварительных расчетов дозу коагулянта D_k , мг/л, в расчете на $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ (по безводному веществу) определяют:

– при обработке для снижения мутности воды – по таблице 9.1 СН 4.01.01-2019,

– при обработке для снижения цветности воды – по формуле (п. 9.3.2 СН 4.01.01-2019):

$$D_k = 4\sqrt{Ц} \quad (9.1)$$

где Ц – цветность обрабатываемой воды, градус цветности.

При одновременном содержании в воде взвешенных веществ и наличии цветности принимают большее из значений доз коагулянта, указанных в таблице 9.1 и определяемых по формуле (9.1).

Таблица 9.1

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта, мг/л
До 100 включ.	25–35
Св. 100 “ 200 “	30–40
“200 “ 400	35–45
“400 “ 600	45–50
“600 “ 800	50–60
“800 “ 1000	60–70
“1000 “ 1500	70–80

Согласно п. 9.3.3 СН 4.01.01-2019, дозу флокулянтов (в дополнение к дозам коагулянтов) следует принимать на основании результатов инженерных изысканий. При использовании анионного полиакриламида (ПАА) его дозу для ориентировочных расчетов следует принимать в количестве, мг/л:

– от 0,20 до 1,50 – при вводе ПАА перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком;

– “ 0,05 “ 0,10 – при вводе ПАА перед фильтрами в схемах с отстаиванием (осветлением в слое взвешенного осадка) и фильтрованием;

– “ 0,20 “ 0,60 – при вводе ПАА перед фильтрами в схемах с одноступенчатым фильтрованием.

Флокулянты следует вводить в воду после коагулянтов.

Дозу подщелачивающих реагентов $D_{щ}$, мг/л, необходимую для улучшения процессов хлопьеобразования определяют по формуле (п. 6.1.1 Пособия П1):

$$D_{щ} = K_{щ} (D_k/e_k - Щ_0) + 1, \quad (6.1)$$

где $K_{щ}$ – коэффициент, принимаемый для извести равным 28 (в пересчете на CaO) и для соды равным 53 (в пересчете на Na_2CO_3); D_k – максимальная доза

безводного коагулянта, мг/л; e_k – эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг/ммоль; принимается: 57 – для $Al_2(SO_4)_3$, 54 – для $FeCl_3$ и 67 – для $e_2(SO_4)_3$; $Щ_0$ – минимальная щелочность воды, ммоль/л.

4.2. Растворные, расходные и растворо-расходные баки для приготовления раствора коагулянта

Хранение коагулянта может производиться в «сухом» или «мокроем» виде. Объем растворных баков $W_{\text{раств}}$, м³, и расходных баков $W_{\text{расх}}$, м³, следует определять по формулам (Б.1) и (Б.2) Приложения Б Пособия П1. Применяют следующие конструкции растворных баков:

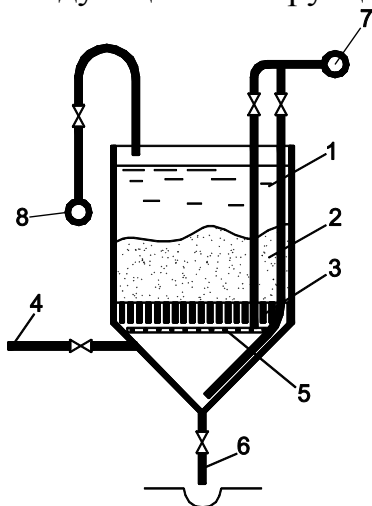


Рисунок Б.1 — Растворный бак коагулянта с перемешиванием путём барботирования воздухом выполняется в виде открытой цилиндрической емкости с коническим дном. 1— растворный бак; 2 — коагулянт; 3 — колосниковая решетка с прозорами от 10 до 15 мм; 4 — отвод раствора коагулянта; 5 — дырчатые трубы для распределения воздуха; 6 — трубопровод сброса осадка и полного опорожнения емкостей; 7 —подача воздуха; 8 —подача воды

Объем растворного бака $W_{\text{раств}}$, м³, следует определять по формуле:

$$W_{\text{раств}} = \frac{q_{\text{час}} t D_k}{10000 b_p \rho}, \quad (\text{Б.1})$$

где $q_{\text{час}}$ – расчетный расход воды, м³/ч;

t – продолжительность использования раствора коагулянта, ч;

D_k – расчетная доза реагента, г/м³;

ρ – плотность раствора реагента, т/м³;

b_p – концентрация растворов в растворном баке; %; принимают 17 – для неочищенного раствора; 20 – для очищенного раствора, приготовленного из кускового коагулянта; 24 – для очищенного раствора, приготовленного из гранулированного коагулянта.

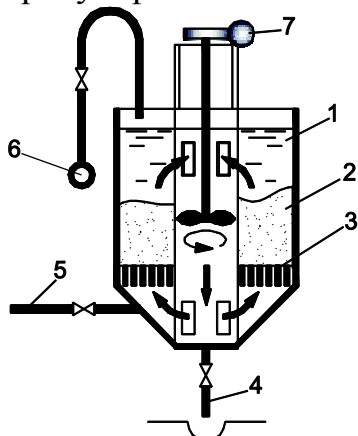


Рисунок Б.2 – Растворный бак коагулянта с механическим перемешиванием путём барботирования воздухом выполняется в виде открытой емкости, в центральной части которой коаксиально установлена трубчатая конструкция для создания циркуляции раствора коагулянта и для размещения лопастной мешалки.

1 – растворный бак; 2 – коагулянт; 3 – колосниковая решетка с прозорами от 10 до 15 мм; 4 – трубопровод сброса осадка и полного опорожнения емкости; 5 –трубопровод отвода раствора коагулянта; 6 –подача воды; 7 – привод лопастной мешалки

Количество растворных баков коагулянта с механическим перемешиванием должно быть не менее трех, их вместимость определяется по формуле (Б.1).

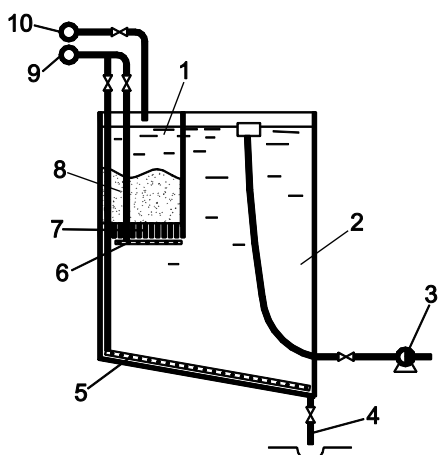


Рисунок Б.3 – Комбинированный растворно-расходный бак с перемешиванием путём барботирования воздухом
 выполняется в виде открытой емкости с наклонным дном, растворная часть размещена в полости расходной части бака.
 1 – растворная часть бака; 2 – расходная часть бака;
 3 – насос-дозатор; 4 – трубопровод сброса осадка и полного опорожнения емкости; 5, 6 – дырчатые трубы для распределения воздуха; 7 – колосниковая решетка с прозорами от 10 до 15 мм; 8 – коагулянт; 9 – подача воздуха; 10 – подача воды

Согласно п. Б.3.2 Пособия П1, количество комбинированных растворно-расходных баков с перемешиванием барботажем воздухом следует принимать не менее двух. Баки оборудуются трубопроводами подачи воды, переливным и сбросным трубопроводами, дырчатыми трубами для распределения воздуха. Днище должно иметь уклон не менее 0,01 к сбросному трубопроводу диаметром не менее 200 мм. Количество комбинированных растворно-расходных баков с перемешиванием барботажем воздухом следует принимать не менее двух. Баки оборудуются трубопроводами подачи воды, переливным и сбросным трубопроводами, дырчатыми трубами для распределения воздуха. Днище должно иметь уклон не менее 0,01 к сбросному трубопроводу диаметром не менее 200 мм.

Объём растворной части комбинированного растворно-расходного бака $W_{\text{раств}}$, м³, определяется по формуле (Б.1), объём расходной части бака $W_{\text{расх}}$, м³, определяется по формуле:

$$W_{\text{расх}} = \frac{W_{\text{раств}} b_p}{b_{\text{расх}}} \quad (\text{Б.2})$$

где $W_{\text{раств}}$ – объём растворной части бака, м³;

b_p – концентрация растворов в растворном баке или в растворной части комбинированного бака, %;

$b_{\text{расх}}$ – концентрация растворов в расходном баке или в расходной части комбинированного бака, %

Концентрацию растворов в расходном баке или в расходной части комбинированного бака $b_{\text{расх}}$, %, следует принимать:

- 12,0 – для коагулянта;
- от 0,1 до 1,0 – для флокулянта.

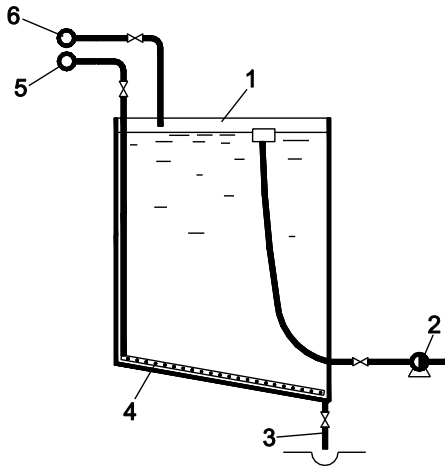


Рисунок Б.4 – Расходный бак с перемешиванием путём барботирования воздухом выполняется в виде открытой емкости с наклонным днищем с уклоном в направлении сбросного трубопровода и оснащенной барботерами для перемешивания раствора реагента.

1 – расходные баки; 2 – насос-дозатор подачи раствора реагента в смеситель; 3 – трубопровод сброса осадка и полного опорожнения емкости; 4 – дырчатые трубы для распределения воздуха; 5 – подача воздуха; 6 – подача воды.

Количество баков должно быть не менее двух. Баки оборудуются трубопроводами подачи воды, переливным и сбросным трубопроводами, дырчатыми трубами для распределения воздуха. Днище должно иметь уклон не менее 0,01 к сбросному трубопроводу диаметром не менее 200 мм.

4.3. Приготовление и дозирование раствора флокулянта

Согласно п. 6.3.1 Пособия П1, приготовление раствора флокулянта следует производить в комплектных станциях заводского изготовления или в баках с механическим перемешиванием. Комплектные станции заводского изготовления производятся трехкамерными (проточного типа) и двухкамерными (периодического действия). Трехкамерные станции, как правило, включают три камеры с последовательной подачей раствора по ним: растворный бак, бак для созревания раствора флокулянта и расходный бак, из которого производится дозирование раствора в обрабатываемую воду. Двухкамерные станции (периодического действия), как правило, включают растворный бак и две камеры (расходных бака) для созревания и дозирования раствора флокулянта. Подача и дозирование раствора флокулянта из двух расходных баков производится периодическим переключением дозирования, после опорожнения одного бака, на другой.

Производительность установки для приготовления раствора флокулянта $q_{\text{меш}}$, кг/ч, определяют по формуле:

$$q_{\text{меш}} = \frac{Q_{\text{сут}} D_{\text{фл}}}{t_{\text{фл}}}$$

где $Q_{\text{сут}}$ – производительность станции водоподготовки, м³/сут;

$D_{\text{фл}}$ – доза флокулянта, г/дм³;

$t_{\text{фл}}$ – продолжительность работы станции водоподготовки в течение суток, ч.

Мешалки следует принимать в зависимости от объема и формы растворного бака флокулянта.

Согласно п. 6.3.2 Пособия П1, объем расходных баков флокулянта следует определять с учетом продолжительности созревания флокулянта и сроком пригодности раствора флокулянта после его созревания для дозирования. Продолжительность процесса созревания флокулянта, определяемая как время от момента его полного растворения до момента его готовности к дозированию, декларируется производителем флокулянта. При отсутствии указанных данных, продолжительность процесса созревания флокулянта следует принимать не менее 30 мин. Срок пригодности раствора флокулянта после его созревания для дозирования декларируется производителем флокулянта, при отсутствии указанных данных, срок пригодности раствора флокулянта следует принимать не более 4 ч.

Перекачку рабочих растворов флокулянтов следует производить насосами, дозирование флокулянта – насосами-дозаторами.

Производительность насоса-дозатора q_n , $\text{дм}^3/\text{ч}$, определяется по формуле:

$$q_n = \frac{q_{\text{час}} \cdot D_{\text{фл}} \cdot 10}{C_{\text{фл}} \cdot b_{\text{расх}} \cdot \rho_{\text{фл}}}$$

где $q_{\text{час}}$ – расчетный расход обрабатываемой воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$D_{\text{фл}}$ – расчетная доза флокулянта, $\text{г}/\text{дм}^3$;

$C_{\text{фл}}$ – содержание активного вещества флокулянта в товарном продукте %;

$b_{\text{расх}}$ – концентрация раствора флокулянта в расходном баке, принимается в пределах от 0,1 % до 1,0 %;

$\rho_{\text{фл}}$ – плотность раствора флокулянта, $\text{кг}/\text{м}^3$.

4.4. Приготовление и дозирование подщелачивающего реагента

Согласно п.6.4.1 Пособия П1 дозирование подщелачивающих реагентов в воду следует предусматривать при недостаточной щелочности воды. Проектирование известкового хозяйства следует выполнять в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.3.19 – 9.3.25).

При поставке порошкообразной извести целесообразно применять ее сухое дозирование с использованием объемных или массовых дозаторов. При расходе извести до 50 кг/сут по CaO допускается применение схемы с использованием известкового раствора, получаемого в сатураторах двойного насыщения. При этом следует предусматривать склад «мокрого» хранения извести, сатураторы двойного насыщения, расходные баки.

При поступлении реагента на станцию в виде суспензии (известкового теста) следует предусматривать схему, включающую баки для приготовления известкового молока концентрацией 30%, баки для хранения известкового молока, расходные баки раствора извести концентрацией 5%.

Согласно п.6.4.1 Пособия П1 для перекачки раствора известкового молока следует применять центробежные насосы. Скорость движения известкового молока в

трубопроводах должна быть не менее 0,8 м/с. Повороты на трубопроводах известкового молока следует предусматривать с радиусом не менее пяти диаметров трубопровода. Напорные трубопроводы следует предусматривать с уклоном к насосу не менее 0,02; самотечные трубопроводы должны иметь уклон к выпуску не менее 0,03.

Тема 5. Смешение реагентов с водой

#Теоретический раздел

5.1. Теоретические основы процесса смешения реагентов с водой, классификация смесительных устройств

В соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.3.2-9.3.30), смесительные устройства должны обеспечивать последовательный, с необходимым интервалом во времени ввод реагентов с учетом продолжительности пребывания воды в трубопроводах или каналах между устройствами ввода реагентов. Количество смесителей (секций) следует принимать не менее двух, оба рабочие, с возможностью отключения их в периоды интенсивного хлопьеобразования. Смесительные устройства должны включать устройства ввода реагентов, обеспечивающие быстрое равномерное распределение реагентов в трубопроводе или канале подачи воды на сооружения водоподготовки, и смесители, обеспечивающие последующее интенсивное смешение реагентов с обрабатываемой водой. Смешивают реагенты с водой в течение 1 – 2 минут при мокром и не более 3 минут при сухом дозировании реагентов.

По принципу действия различают два основных типа смесителей:

1) **гидравлические**, в которых турбулентный поток создается сужениями или дырчатыми перегородками (шайбовые, вертикальные (вихревые), перегородчатые, дырчатые и коридорные смесители);

2) **механические**, в которых турбулизация потока создается мешалками различных типов, приводимыми в действие внешними источниками энергии. Другими словами, в смесителях гидравлического типа турбулизация потока создается увеличением скорости потока обрабатываемой воды в 3 раза: от 0,4 – 0,6 м/с до 1,0 м/с. А в механических смесителях турбулизация потока создается вращением лопастей или пропеллеров мешалки электродвигателем.

5.2. Смешение растворов реагентов в трубопроводе. Смеситель эжекторного типа

Для смешения реагентов непосредственно в напорном трубопроводе или во всасывающей трубе насоса применяют смеситель эжекторного типа (рис. 5.2). Применение смесителя эжекторного типа производительностью станции не ограничивается. Установка с эжектором может быть рекомендована в тех случаях, когда высотное расположение напорного водовода и дозирующих устройств не обеспечивает подачу раствора реагента в водовод самотёком.

Величина вакуума в эжекторе определяется по формуле:

$$B = \frac{H \cdot f_1^2}{f_2^2} - H, \text{ м. вод. ст.}$$

1 Па = 0,1 мм. вод. ст.

где H – напор воды, подводимой к эжектору, м;

f_1 – площадь сечения отводящей трубы, м²;

f_2 – площадь суженного сечения, м²

Расход подводимой к эжектору воды определяют по формуле:

$$Q_s = \frac{q_s \cdot h_s}{\eta \cdot H}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где q_s – производительность эжектора, м³/ч;

h_s – высота подачи воды эжектором, м;

η – К.П.Д. эжектора, принимается от 0,1 до 0,15.

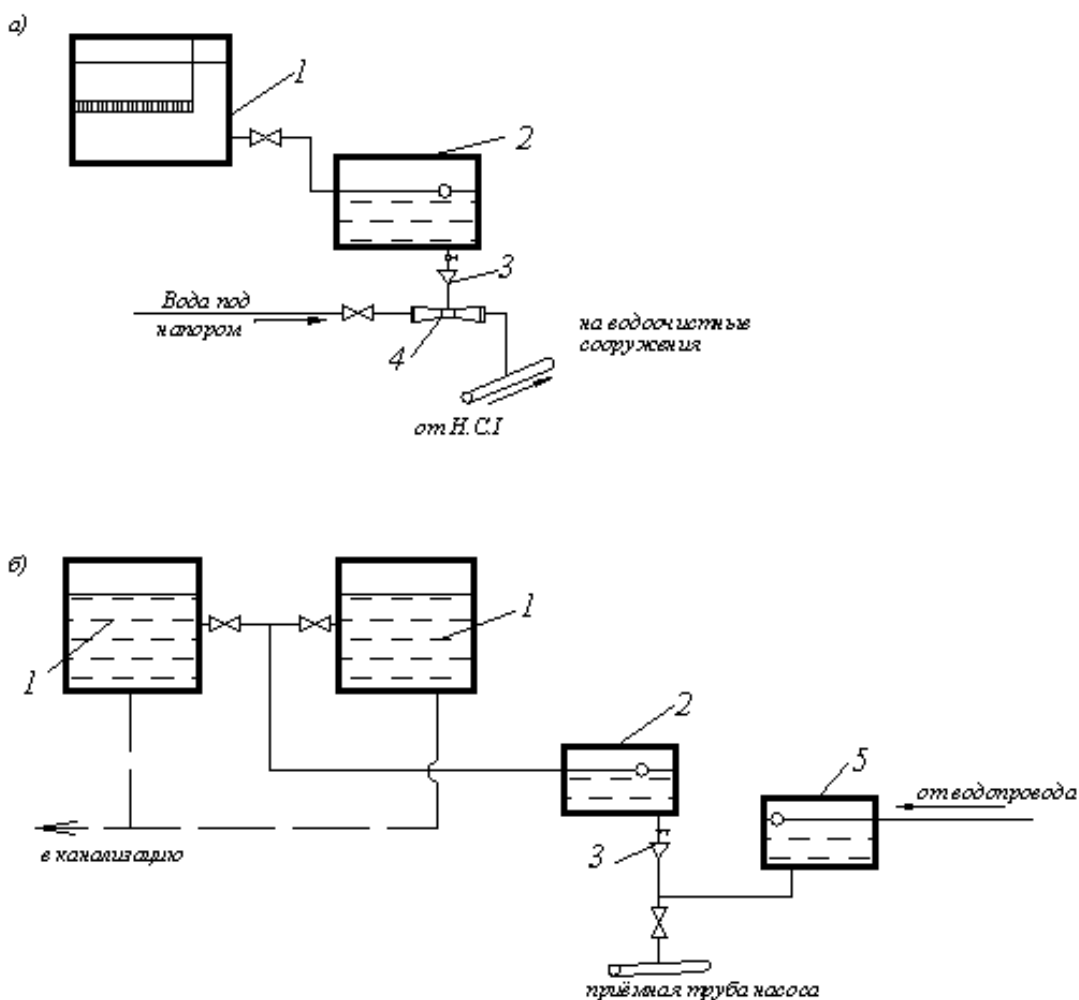


Рис.5.2 – Схема ввода реагента

а) в напорный трубопровод при помощи эжектора; б) во всасывающую трубу насоса;

1– раствор коагулянта; 2 – дозировочный бак; 3 – воронка; 4– эжектор; 5– бачок постоянного уровня

5.3. Шайбовые смесители

Шайбовые смесители согласно 7.2 Пособия П1-2019 могут применяться на станциях водоподготовки любой производительности.

Шайбовый смеситель выполняется как сужение на трубопроводе в виде диафрагмы или трубы Вентури с подачей раствора коагулянта в область пониженного давления за сужением (рис. 5.3). Трубка, подводящая раствор реагента в напорный трубопровод, должна доходить до его середины, а ее конец должен быть срезан под углом 45°. Трубку изготавливают из пластмассы или стекла и укрепляют в напорном трубопроводе при помощи сальника.

Длина участка, на котором происходит смешение при использовании шайбовых смесителей, должна быть не менее 50 диаметров трубопровода.

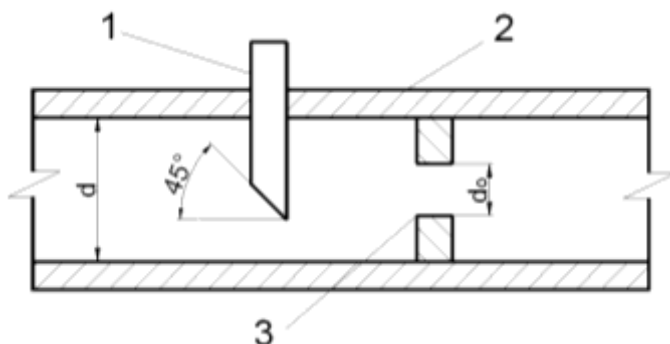


Рис. 5.3 – Шайбовый смеситель

1 – трубопровод; 2 – трубка для ввода реагента; 3 – шайба

Диаметр напорного водовода определяется, исходя из скорости течения воды от 1,2 до 1,5 м/с, диаметр суженной части смесителя (диафрагмы) – исходя из скорости течения воды не более 3,0 м/с.

Потери напора в суженной части $h_{суж}$, м, определяются по формуле:

$$h_{суж} = \frac{v_{н.вод(ст)}^2 \cdot (m^2 - 1)}{2g\mu_p^2}$$

где $v_{н.вод(ст)}$ – скорость движения воды в напорном водоводе, м/с;

μ_p – коэффициент расхода воды, равный 0,8.

m – отношение площадей сечений напорного трубопровода и диафрагмы;

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²;

Пьезометрическая отметка перед смесителем z_2 , м, определяется по формуле:

$$z_2 = z_1 + h_n + h_{\partial}$$

где z_1 – отметка уровня воды в камере хлопьеобразования; m ;

h_n – напор воды на свободный излив, равный 0,8 м;

h_d – потери напора воды в смесителе, м, следует принимать в пределах от 0,2 до 0,3 м;

Отметка дна дозирующего бачка или приемной воронки z_3 , м, определяется по формуле:

$$z_3 = z_2 - h_d + 0,5,$$

где h_d – глубина воды в дозирочном бачке, м.

5.4. Конструкция вертикального (вихревого) смесителя, расчёт и нормы проектирования

Вертикальные (вихревые) смесители применяются при производительности одного смесителя от 1200 до 1500 м³/ч, а также для смешивания с обрабатываемой водой реагентов в виде суспензий, в том числе известкового молока, каустического магнезита.

Вихревой смеситель выполняется в виде цилиндрической или призматической емкости соответственно с конической или пирамидальной нижней частью (рисунок 5.4). Центральный угол между наклонными стенками смесителя α должен составлять от 30° до 45°. Количество смесителей (секций) следует принимать не менее двух, оба – рабочие в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.3.30). Расчёт и проектирование вихревого смесителя – по разделу 7.3 Пособия П1.

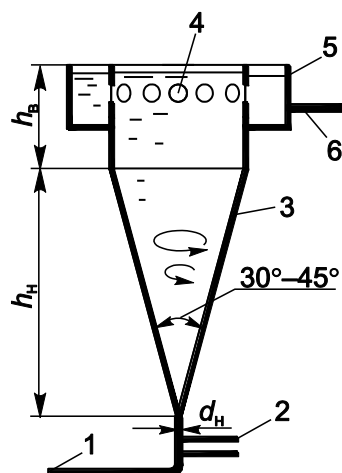


Рисунок 5.4 – Вертикальный (вихревой) смеситель

1 – трубопровод подачи исходной воды; 2 – ввод реагентов; 3 – коническая часть смесителя; 4 – затопленные отверстия; 5 – сборный желоб; 6 – трубопровод отвода воды, смешанной с реагентами

Размер входного отверстия в смеситель (круглый в плане) принимается равным диаметру подводящего трубопровода d_n , м, который определяется, исходя из скорости входа воды в смеситель v_n , принимаемой от 1,2 до 1,5 м/с. Для

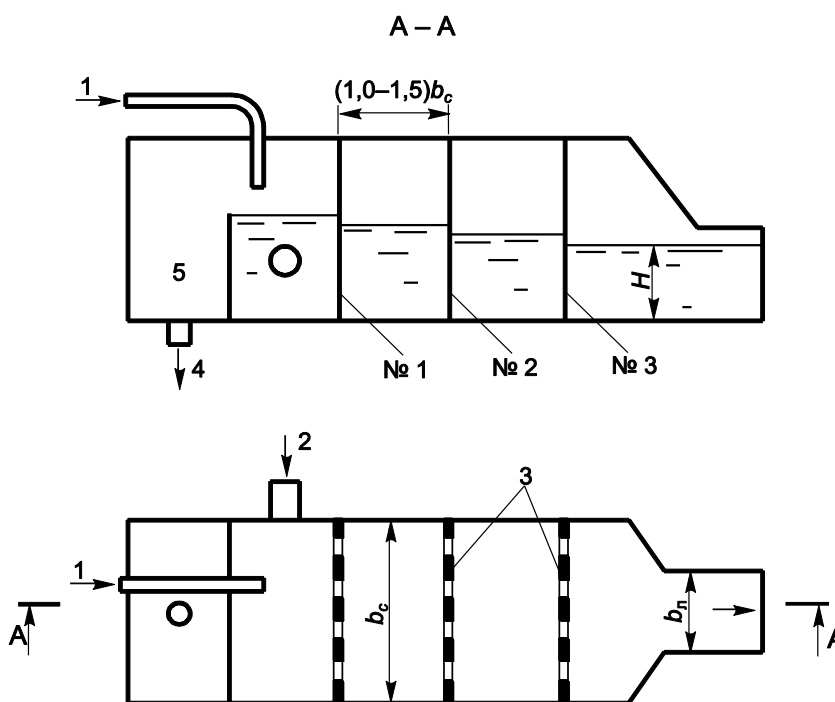
квадратного в плане смесителя сторона нижнего основания b_n принимается равной диаметру подводящего трубопровода.

Отведение воды осуществляется из верхней части смесителя периферийным лотком через затопленные отверстия. Вода, протекающая по лотку в направлении бокового кармана, разделяется на два потока. Скорость движения воды в лотке v_d следует принимать равной 0,6 м/с.

5.5. Конструкция дырчатого смесителя, расчёт и нормы проектирования

Дырчатые смесители используют на станциях водоподготовки производительностью не более 1000 м³/ч.

Дырчатый смеситель выполняется в виде железобетонного лотка с вертикальными перегородками, установленными перпендикулярно движению воды, с отверстиями, расположенными в несколько рядов (рисунок 5.5). Расчёт и проектирование дырчатого смесителя – по разделу 7.4 Пособия П1.



- 1 – ввод реагента; 2 – трубопровод подачи воды; 3 – перегородки с отверстиями;
4 – переливная труба; 5 – переливная камера

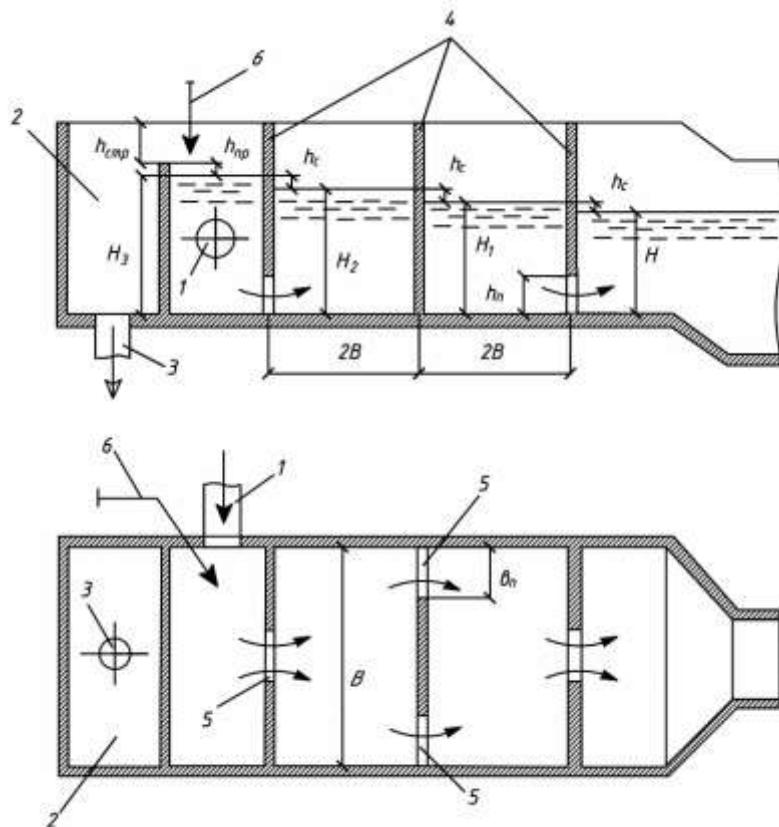
Рисунок 5.5 – Схема дырчатого смесителя

Скорость движения воды в отверстиях перегородок v_o принимают 1 м/с. Верхний ряд отверстий должен быть затоплен на глубину $h_{зат}$ от 0,10 до 0,15 м, для предотвращения поступления воздуха в воду. Количество отверстий в каждой перегородке $n_{отв}$, шт., определяется в зависимости от расчетного расхода воды и диаметра отверстий. Диаметр отверстий, d_o , мм, принимается в пределах от 20 до 100 мм.

5.6. Конструкция перегородчатого смесителя, расчёт и нормы проектирования

Перегордчатые смесители используют на станциях водоподготовки производительностью не более $600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Перегордчатый смеситель выполняется в виде лотка с тремя вертикальными перегородками, установленными перпендикулярно движению воды, с проемами в нижней части, которые размещаются в периферийной части средней перегородки и в центральной части двух других перегородок (рисунок 5.6). Расчёт и проектирование перегородчатого смесителя – по разделу 7.5 Пособия П1.



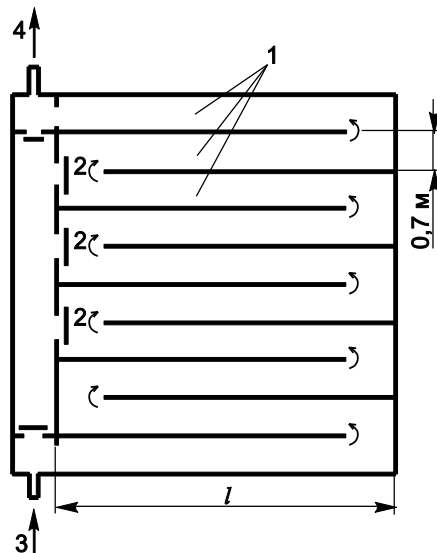
1 – трубопровод для подачи воды в смеситель; 2 – переливная камера; 3 – переливная труба; 4 – перегородки; 5 – проемы в перегородках; 6 – ввод реагента.

Рисунок 5.6 – Схема перегородчатого смесителя

5.7. Конструкция коридорного смесителя, расчёт и нормы проектирования

Коридорные смесители используют на станциях водоподготовки производительностью более $300\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Коридорный смеситель выполняется в виде железобетонного лотка с направляющими перегородками, установленными параллельно на расстоянии не менее $0,7 \text{ м}$ друг от друга, разделяющими лоток на коридоры, в которых смешивание реагентов с водой производится посредством изменения направления движения воды на 180° (рисунок 5.7). Расчёт и проектирование коридорного смесителя выполняются по разделу 7.6 Пособия П1-2019.



1 – коридоры; 2 – шиберы; 3 – трубопровод подачи исходной воды; 4 – трубопровод отвода воды, смешанной с реагентами

Рисунок 5.7 – Схема коридорного смесителя

5.8. Конструкция механического смесителя, расчёт и нормы проектирования

Механический смеситель выполняется в виде емкости, оснащенной лопастными, пропеллерными, турбинными мешалками (рисунок 5.8) Режим перемешивания принимают турбулентным. Число Рейнольдса определяют по формуле:

$$Re_{\omega} = \frac{\rho n^i d^2}{\mu} > 50 \quad (7.31)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

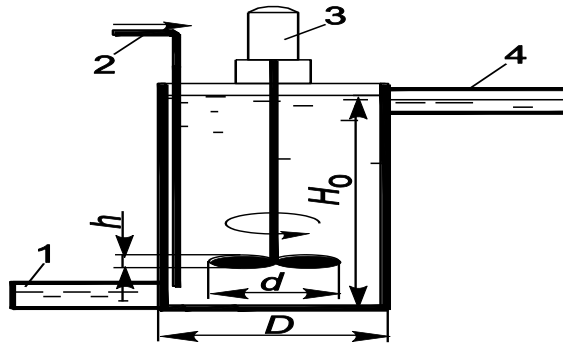
n^i – частота вращения мешалки, с⁻¹;

d – диаметр мешалки, м;

μ – коэффициент динамической вязкости, мПа·с, принимают в зависимости от температуры воды по таблице 7.1 Пособия П1.

Таблица 7.1 – Значения коэффициента динамической вязкости воды при различной температуре

Температура воды, °С	2	6	10	14	18	22
Коэффициент динамической вязкости, μ 10 ⁻³ мПа·с	1,673	1,473	1,308	1,171	1,056	0,958



1 – подача исходной воды; 2 – ввод реагента; 3 – пропеллерная мешалка;
4 – отвод смеси воды и реагента

Рисунок 5.8 – Схема механического смесителя

Объем механического смесителя $W_{CM}^{мех}$, м³, определяется по формуле:

$$W_{CM}^{мех} = \frac{q_{час} t_{см}}{n_{см} \cdot 3600} \quad (7.32)$$

где $q_{час}$ – расчетный расход воды, м³/ч;

$t_{см}$ – продолжительность пребывания воды в смесителе, с; принимается в пределах от 30 до 180 с;

$n_{см}$ – количество смесителей (принимается не менее двух).

Диаметр смесителя D , м, принимают равным глубине воды в нем H_0 , м, и определяют в зависимости от объема смесителя $W_{CM}^{мех}$, м³.

Мощность $N_{см}$, Вт, потребляемую на перемешивание, вычисляют по формуле:

$$N_{см} = G^2 W_{CM}^{мех} \mu, \quad (7.33)$$

где G – градиент скорости, с⁻¹; принимают в пределах от 200 до 300 с⁻¹.

Параметры мешалки определяют по данным производителей.

Тема 6. Камеры хлопьеобразования в системах водоподготовки

#Теоретический раздел

После быстрого смешения воды с реагентами в смесителе предусматривают медленное перемешивание в камере хлопьеобразования, вместимость которой должна обеспечить продолжительность периода флокуляции.

Камеры хлопьеобразования применяют для плавного перемешивания смеси обрабатываемой воды с растворами коагулянта и флокулянта и обеспечения более полной агломерации мелких хлопьев коагулянта в крупные.

Тип камеры выбирают в зависимости от способа отделения взвешенных веществ на следующей стадии обработки.

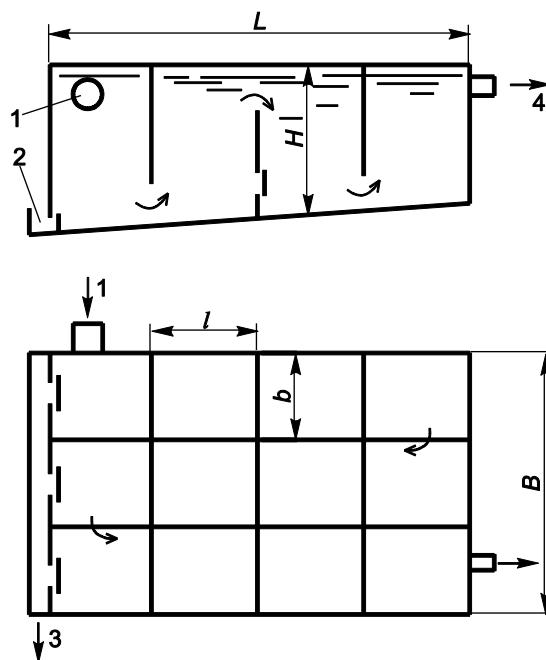
Согласно СН 4.01.01-2019 (9.3.36) в отстойниках предусматривают встроенные камеры хлопьеобразования гидравлического или механического типа.

В схеме с горизонтальными отстойниками устраивают перегородчатые, вихревые, встроенные со слоем взвешенного осадка и механические (лопастные) камеры хлопьеобразования; в схеме с вертикальными отстойниками – водоворотные.

6.1. Конструкция перегородчатой камеры хлопьеобразования с вертикальной циркуляцией воды, расчёт и нормы проектирования

Перегородчатые камеры хлопьеобразования с вертикальной циркуляцией воды применяют перед горизонтальными отстойниками при расходе воды не менее 6000 м³/сут.

Перегородчатые камеры хлопьеобразования с вертикальной циркуляцией воды выполняются в виде прямоугольных железобетонных резервуаров, которые оснащены рядом вертикальных перегородок, установленных перпендикулярно движению воды, с проемами, устраиваемыми в нижней части и верхней части перегородок поочередно. Перегородки разделяют камеру хлопьеобразования на ячейки, в которых требуемое перемешивание воды обеспечивается при изменении направления ее движения в вертикальной плоскости (рисунок 6.1). Расчёт и проектирование перегородчатой камеры выполняют по разделу 8.2 Пособия П1.



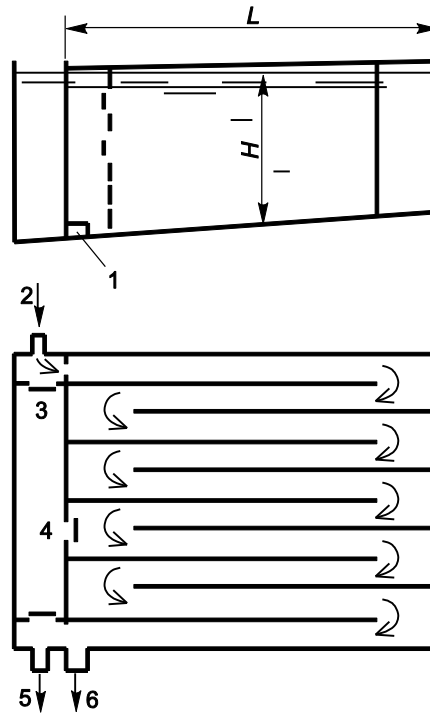
1 – трубопровод подвода воды; 2 – лоток канализации; 3 – выпуск осадка; 4 – трубопровод отвода воды

Рисунок 6.1 – Схема перегородчатой камеры хлопьеобразования с вертикальной циркуляцией воды

6.2. Конструкция перегородчатой камеры хлопьеобразования с горизонтальной циркуляцией воды, расчёт и нормы проектирования

Перегородчатые камеры хлопьеобразования с горизонтальной циркуляцией воды применяют на станциях водоподготовки с горизонтальными отстойниками, производительностью более 40000 м³/сут.

Перегородчатые камеры хлопьеобразования с горизонтальной циркуляцией воды выполняются в виде прямоугольных железобетонных резервуаров, которые оснащаются направляющими перегородками, разделяющими камеру хлопьеобразования на параллельные коридоры шириной не менее 0,7 м, и обеспечивающими перемешивание при изменении направления движения воды при ее поступлении в смежный коридор (рисунок 6.2).



1 – выпуск; 2 – трубопровод подвода воды; 3 – обводной канал; 4 – промежуточный выпуск; 5 – трубопровод выпуска воды; 6 – трубопровод выпуска осадка

Рисунок 6.2 – Схема перегородчатой камеры хлопьеобразования с горизонтальной циркуляцией воды

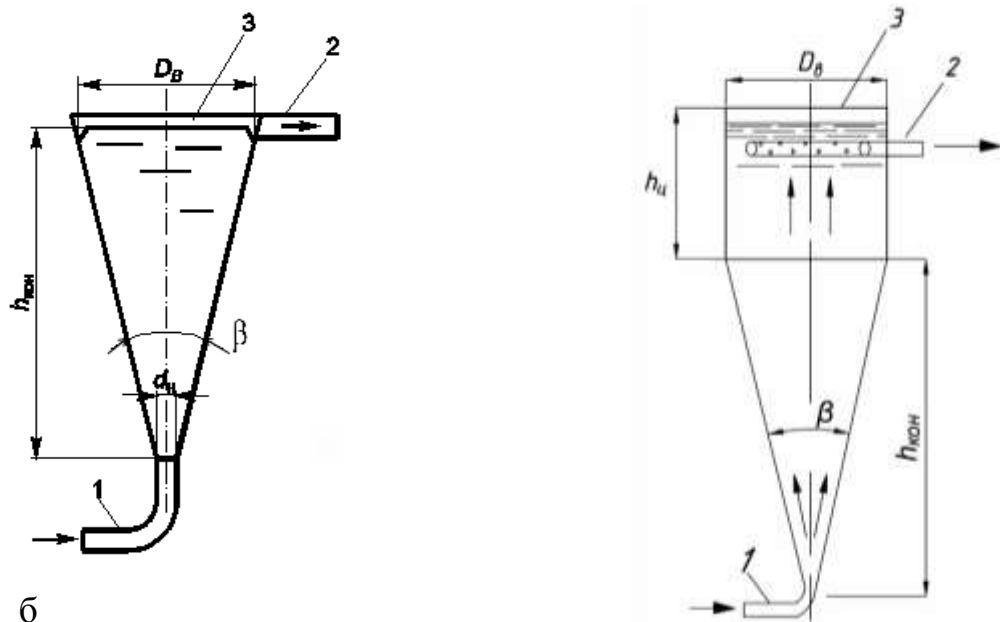
6.3. Конструкция вихревой камеры хлопьеобразования, расчёт и нормы проектирования

Вихревая камера хлопьеобразования выполняется в виде железобетонного конического или пирамидального резервуара с увеличивающимся поперечным сечением снизу в верх в направлении движения воды (рисунок 6.3).

Вихревую камеру хлопьеобразования, как правило, выполняют встроенной в горизонтальный отстойник или сблокированной с ним.

Перемешивание воды в вихревой камере хлопьеобразования производится при её движении снизу в верх вследствие значительного снижения скорости движения со значений от 0,7 до 1,2 м/с до значений от 0,004 до 0,005 м/с в результате увеличения площади поперечного сечения.

Объем вихревой камеры хлопьеобразования $W_{КХО}$, м³, определяется в зависимости от продолжительности пребывания воды в камере от 6 до 12 мин, при этом меньшее значение принимается для мутных вод, большее значение – для цветных вод.



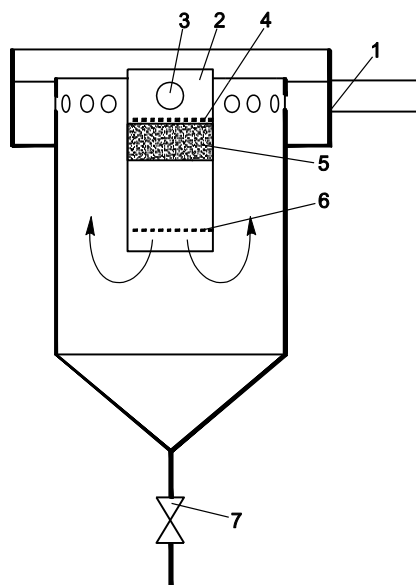
а б
 1 – трубопровод подвода исходной воды; 2 – трубопровод отвода воды после камеры хлопьеобразования; 3 – кольцевой желоб

Рисунок 6.3 – Схема вихревой камеры хлопьеобразования с: а) – с конической, б) с цилиндрической нижней частью

6.4. Конструкция контактной камеры хлопьеобразования, расчёт и нормы проектирования

Контактные КХО применяют в технологических схемах осветления мало- и среднетурбидных цветных и высокоцветных вод. Область применения контактных камер ограничивается мутностью исходной воды не более 150 мг/л, цветностью – не более 250 град. Работа контактных камер хлопьеобразования основана на принципе контактной коагуляции, обусловленной способностью мелких частиц взвеси и микрохлопьев коагулянта после взаимной нейтрализации электрокинетических зарядов прилипать к поверхности более крупных частиц фильтрующей загрузки.

Контактная КХО выполняется в виде емкости с плавающей загрузкой, которая встраивается в вертикальные, горизонтальные отстойники и осветлители со слоем взвешенного осадка (рисунок 6.4).



1 – трубопровод отвода отстоянной воды; 2 – контактная камера хлопьеобразования; 3 – трубопровод подачи исходной воды; 4 – верхняя решетка; 5 – плавающая загрузка; 6 – нижняя решетка; 7 – трубопровод удаления осадка

Рисунок 6.4 – Схема вертикального отстойника с встроенной контактной камерой хлопьеобразования

Подачу воды в камеру производят по трубопроводу, расположенному на расстоянии от 0,2 до 0,3 м выше уровня контактной загрузки. Над камерами хлопьеобразования предусматривают павильон шириной не более 6 м. Отвод воды из контактной КХО в горизонтальный отстойник предусматривают через стенку, отделяющую камеру от отстойника и работающую как затопленный водослив, и подвесную перегородку, погруженную на 0,25 ее высоты, которая направляет поток отводимой из камеры воды в нижнюю часть отстойника.

Распределение воды по площади камеры хлопьеобразования предусматривают с помощью перфорированных труб с отверстиями, направленными вниз под углом 45°. В качестве загрузки контактных КХО используют пенополистирол разрешенных марок для контакта с питьевой водой (ПСВ и ПСБ), или другие аналогичные материалы с размерами зерен от 0,5 до 5,0 мм, высотой слоя загрузки 1 м.

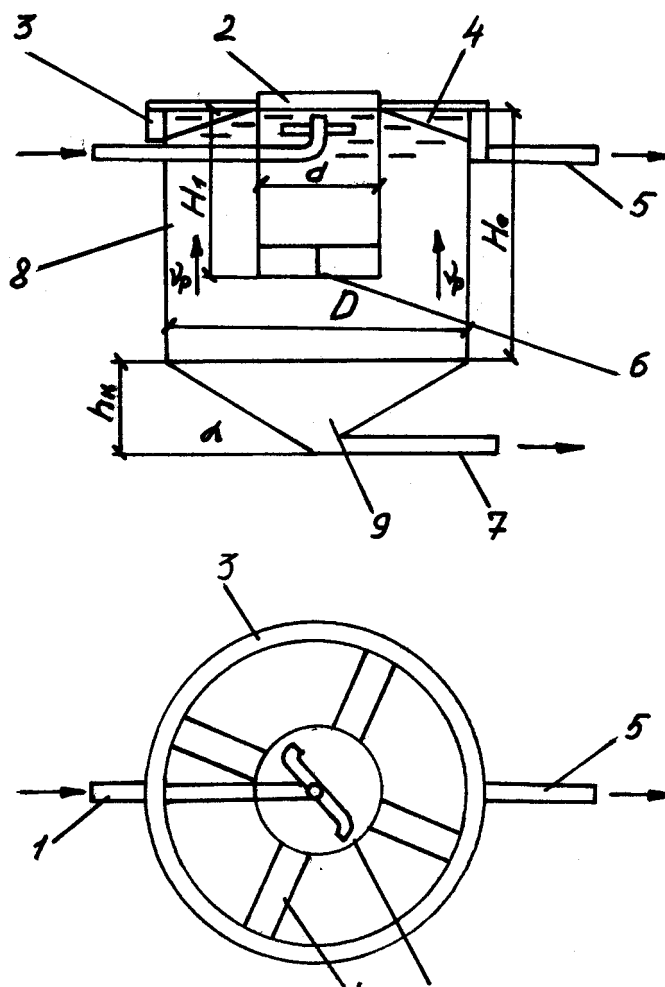
Отвод воды из контактной камеры хлопьеобразования в горизонтальный отстойник следует предусматривать через стенку, отделяющую камеру от отстойника и работающую как затопленный водослив, и подвесную перегородку, погруженную на 0,25 ее высоты, которая направляет поток отводимой из камеры воды в нижнюю часть отстойника.

Расчёт и проектирование контактной КХО выполняют по разделу 8.5 Пособия П1.

6.5. Конструкция водоворотной камеры хлопьеобразования, расчёт и нормы проектирования

Камеры этого типа применяются на водоочистных станциях небольшой производительности. Водоворотная камера хлопьеобразования выполняется в виде цилиндрической емкости, встроенной в вертикальный отстойник. Вода подается в верхнюю часть камеры по трубопроводу, снабженному на конце соплами-насадками. Поток воды из сопел направлен по касательной к стенкам емкости для создания вращательного движения воды (рисунок 6.5). Благодаря возникающему при этом равномерному перемешиванию создаются благоприятные условия для хлопьеобразования.

Для гашения скорости движения воды при её переходе в отстойник в нижней части камеры следует предусматривать гаситель потока.



1 – трубопровод подачи исходной воды; 2 – камера хлопьеобразования водоворотного типа; 3 – кольцевой водосборный желоб; 4 – радиальный водосборный желоб; 5 – трубопровод отвода осветленной воды; 6 – гаситель потока; 7 – трубопровод для удаления осадка; 8 – зона осветления воды; 9 – зона накопления и уплотнения осадка

Рисунок 6.5 – Схема водоворотной камеры хлопьеобразования, встроенной в вертикальный отстойник

Расчёт и проектирование водоворотной КХО выполняют по разделу 8.6 Пособия П1.

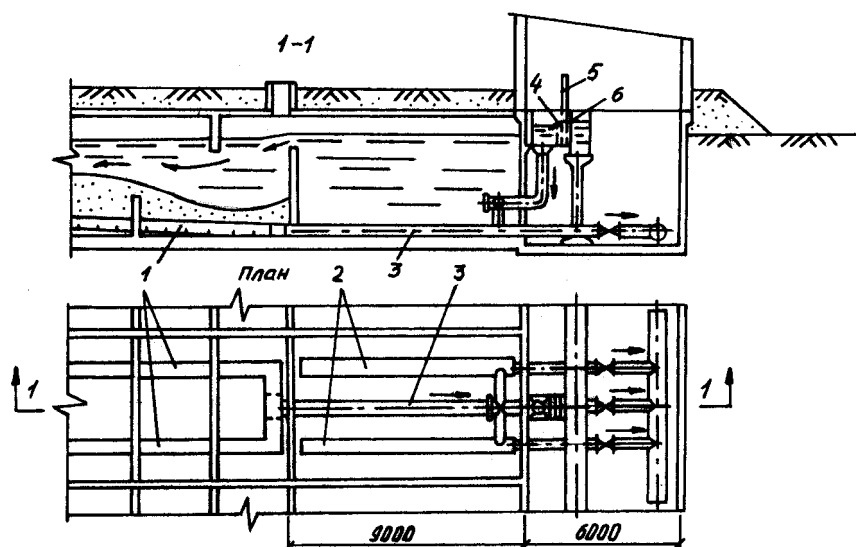
6.6. Конструкция камеры хлопьеобразования зашламленного типа (со слоем взвешенного осадка), расчёт и нормы проектирования

Такие камеры хлопьеобразования устраивают непосредственно в начале коридоров горизонтальных отстойников или выполняют сблокированными с ними. Камеру проектируют в виде прямоугольного железобетонного резервуара с вертикальными поперечными перегородками и пирамидально-гребенчатым дном (рисунок 6.6).

Восходящая скорость движения воды принимается от 0,65 до 1,6 мм/с при осветлении вод средней мутности (от 50 до 250 мг/л) и от 0,8 до 2,2 мм/с – при осветлении мутных вод (от 250 до 1500 мг/л). Время пребывания воды в камере принимается не менее 20 мин. Это позволяет увеличить расчетную скорость осаждения взвеси в отстойниках, например, при осветлении вод средней мутности на 15–20 %, а для мутных вод – на 20 %. Распределение воды по площади камеры предусматривают с помощью напорных перфорированных труб с отверстиями, направленными вниз под углом 45°. Расстояние между перфорированными трубами в осях принимают 2 м, от стенки камеры – 1 м. Диаметр отверстий – не менее 25 мм, их суммарная площадь должна составлять 30–40 % от площади сечения распределительной трубы.

Скорость движения воды в распределительных трубах должна быть 0,5–0,6 м/с. Для соблюдения постоянства скорости движения воды, распределительные трубы рекомендуется выполнять телескопическими с косыми переходами. Передача воды из камеры в отстойник осуществляется при скорости ее движения до 0,1 м/с для мутных вод и до 0,05 м/с – для цветных.

На входе воды в отстойник следует устанавливать подвесную перегородку, погруженную на 1/4 высоты отстойника, чтобы отклонять поток воды книзу. Скорость движения воды между стенкой и перегородкой должна быть не более 0,03 м/с.



1 – дырчатый канал для спуска осадка; 2 – дырчатый распределительный перфорированный канал (или перфорированные трубы); 3 – выпуск осадка из отстойника; 4 – подача воды через водослив; 5 – шибер; 6 – подающий канал из смесителя

Рисунок 6.6 – Схема камеры хлопьеобразования зашламленного типа, встроенной в горизонтальный отстойник

Вода, поступающая из смесителя, по каналу 6 через водослив 4 подается в приемный карман и по вертикальному трубопроводу направляется в дырчатые распределительные каналы 2 (или перфорированные трубы). Здесь вследствие уменьшения скорости воды образуются хлопья скоагулированной взвеси, которые агломерируются и укрупняются при движении воды вверх через слой взвешенного осадка камеры высотой не менее 2 м. В верхней части отстойника устраивают отбойный щиток, направляющий поток воды, которая прошла камеру хлопьеобразования.

Расчёт и проектирование камеры хлопьеобразования зашламленного типа выполняют по разделу 8.7 Пособия П1.

7.1. Сетчатые фильтры. Конструкции. Основные технические характеристики, область применения, методика проектирования

Для механической предварительной очистки поверхностных вод применяются сетчатые фильтры, барабанные сетка и микрофильтры. В зависимости от дисперсности взвешенных веществ, требуемой степени очистки и условий применения фильтры оснащаются сетчатым полотном с ячейками различной крупности и дополнительно могут оборудоваться бактерицидными лампами. В зависимости от размера ячеек сетчатого полотна фильтры подразделяются на барабанные сетки и микрофильтры, имеющие соответственно индексы БСМ и МФМ (барабанные сетки и микрофильтры модернизированные).

В практике очистки воды используются сетчатые фильтры (рис.7.1, 7.2, 7.3), конструкции которых отличаются:

- по применяемой технологической схеме – одно- или многоступенчатая с фильтрованием через сетки с уменьшающимися по ходу движения воды размерами ячеек сетки;
- по расположению сетчатого полотна – горизонтальные и вертикальные;
- по способу промывки – прямоточная, обратная или специальные виды промывок;
- по осуществлению процесса промывки – ручная с извлечением сетки из корпуса фильтра, с ручным или автоматическим открытием запорных органов;
- по размеру ячеек сетки – от 0,01 до 3,0 мм;
- по материалу корпуса фильтра – полимерный, из нержавеющей стали, из легких сплавов, комбинированный; по материалу сетки – нержавеющая сталь, полимерное полотно.



Рис. 7.1 – Горизонтальные сетчатые фильтры

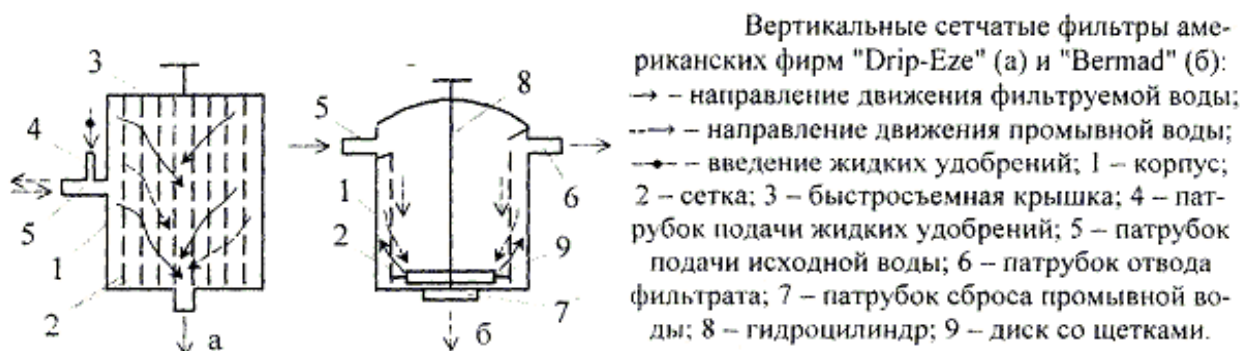
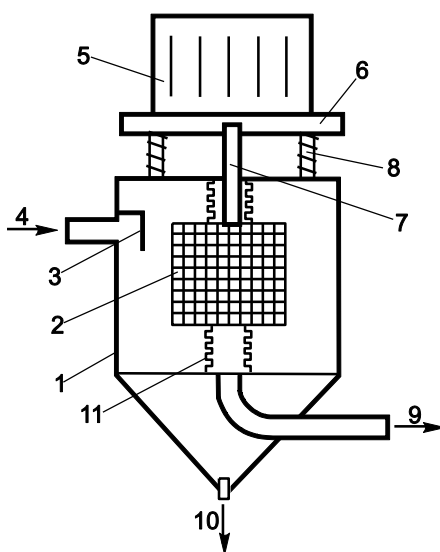


Рис. 7.2 – Вертикальные сетчатые фильтры



1 — металлический корпус; 2 — фильтрующий элемент; 3 — водоотбойная пластина;
 4 — подвод исходной воды; 5 — электромагнитный вибратор; 6 — опорная плита; 7 — шток;
 8 — пружина; 9 — отвод осветленной воды; 10 — система оттарированных насадок;
 11 — сильфонные уплотнения

Рис. 7.3 – Акустический фильтр

Акустические сетчатые фильтры применяют для предварительного осветления воды, содержащей высокодисперсные глинистые и другие взвеси крупностью более 20 мкм. При содержании взвешенных веществ в исходной воде до 6000 мг/л, эффект очистки на акустическом фильтре достигает 60%. В результате создания упругих колебаний звукового диапазона частот электромагнитным вибратором в акустических фильтрах происходит непрерывная регенерация фильтрующего элемента. Акустический фильтр представляет собой круглый в плане резервуар высотой от 1,2 до 1,4 м, диаметром от 0,4 до 0,6 м, состоящий из металлического корпуса 1, в котором расположены фильтрующий элемент 2 и сильфонные уплотнения 11. Фильтрующий элемент выполнен в виде перфорированного стакана из нержавеющей стали с расположенными в шахматном порядке отверстиями диаметром 4–5 мм, обтянутого микросеткой с размером ячеек 100–125 мкм.

Штоком 7 стакан соединён с плитой 6, прикреплённой к корпусу электромагнитного вибратора 5, который опирается на четыре пружины 8, выполняющие роль амортизатора. Обрабатываемая вода поступает в корпус фильтра 1 по трубе 4 со скоростью 80-150 м/ч, огибает водоотбойную пластину 3, проходит через фильтрующий элемент 2, осветляется и отводится по трубе 9. (рис. 7.3) В результате возвратно-поступательного движения фильтрующего элемента частицы механических примесей на сетке не осаждаются, и не происходит коагуляция фильтрующего элемента. Под действием силы тяжести частицы механических примесей осаждаются в конусной части фильтра и через систему оттарированных насадок 10 непрерывно отводятся в канализацию.

Для съёмных сеток водозаборов, не имеющих постоянной промывки и работающих при производительности до 1 м³/ч, размер ячеек назначают обычно не менее 2х2 мм, скорость течения воды в отверстиях – не более 0,4 м/с, максимальные потери напора от 0,1 до 0,2 м.

Площадь съёмной сетки определяется по формуле:

$$F_{с(брутто)} = \frac{Q_p}{v_p \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}, \text{ м}^3 \quad (1)$$

где Q_p – расчетный расход воды, проходящей через сетку, м³/с;

v_p – скорость течения воды, м/с;

η_1 – коэффициент сжатия струи, $\eta_1 \approx 0,8$;

η_2 – коэффициент стеснения живого сечения сетки проволокой, определяемый по формуле:

$$\eta_2 = \frac{b^2}{(b+d)^2}, \quad (2)$$

где b – размер ячейки в свету, мм; d – диаметр проволоки полотна сетки, мм;

η_3 – коэффициент загрязнения сеток, $\eta_3 = 0,7-0,85$

Для вращающихся сеток учитывают дополнительно коэффициент уменьшения площади живого сечения сеток опорными рамами и шарнирами, принимают $\eta_4 \approx 0,75$.

7.2. Барабанные сетки и микрофильтры

Барабанные сетки применяются для извлечения из воды грубых примесей в виде речных наносов из песка, ила, листьев, прутьев, коры деревьев и кустарников, фито- и зоопланктона, т.е. для грубого осветления (процеживания) воды. Барабанные сетки применяют вместо плоских съёмных ленточных сеток и других аналогичных устройств для удаления из воды крупных плавающих и взвешенных примесей (в том числе фито- и зоопланктона) при количестве клеток более 1000 кл/мл.

В системах подготовки воды для питьевых целей для предварительного осветления воды из поверхностных источников водоснабжения применяют микрофильтры. Конструктивно они выполнены из вращающегося барабана со сменными фильтрующими сетчатыми элементами с размером ячеек сеток 40×40 или 60×60 мкм, вала барабана с воронками для сбора промывной воды, привода, камеры расположения барабана, входного и выходного каналов, системы подачи и отвода промывной воды. Окружная скорость барабана – от 0,1 до 0,3 м/м. Глубина его погружения в воду в камеру – 4/5 диаметра барабана. Установку микрофильтров следует предусматривать в камерах. Допускается размещение в одной камере двух агрегатов, если число рабочих агрегатов свыше 5.

7.3. Осветление воды в гидроциклонах. Основы процесса, конструкции аппаратов

Для предварительного осветления воды с высокой мутностью, обусловленной присутствием примесей минерального происхождения, в системах коммунального водоснабжения применяют гидроциклоны и мультициклоны заводского изготовления. Проектирование установки предварительного осветления воды с гидроциклонами осуществляют на основании данных технологических исследований гидравлической крупности примесей воды источника водоснабжения в период наиболее высокой мутности и технических характеристик гидроциклона завода-изготовителя.

Процесс осветления воды в гидроциклоне осуществляется под действием разности значений центробежной силы для твёрдой и жидкой фаз. Эта сила возникает в результате интенсивного вращения массы воды при тангенциальном вводе её в гидроциклон. Значение этой силы определяется по формуле

$$F = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot v^2 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}})}{6 \cdot r}, \text{ Н}$$

где d – эквивалентный диаметр частиц, см;

v – скорость входа воды в гидроциклон, см/сек;

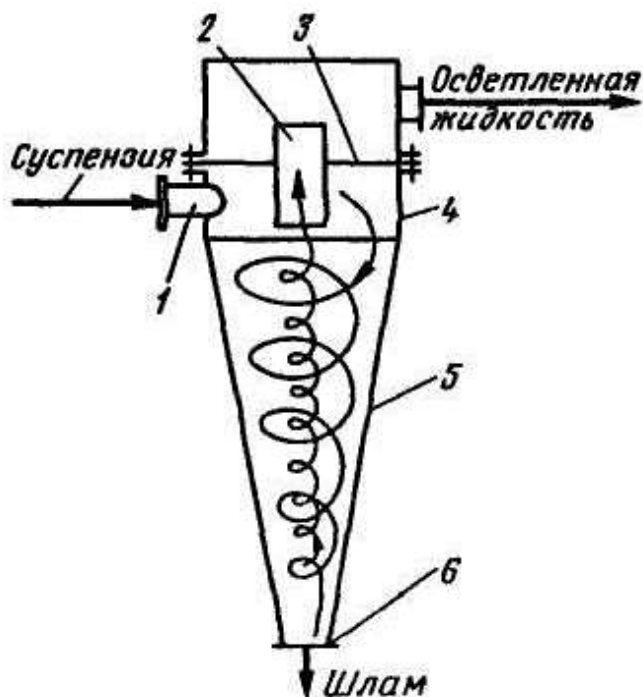
$\rho_{\text{ч}}$ – плотность твёрдой фазы (частицы), г/см³;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкой фазы (жидкости), г/см³;

r – расстояние от центра гидроциклона до оси входного отверстия, см.

Перемещение твёрдых частиц к стенке гидроциклона происходит со скоростью, равной разности между скоростью, возникающей в результате действия центробежной силы, и радиальной скоростью движения воды, направленной к центру.

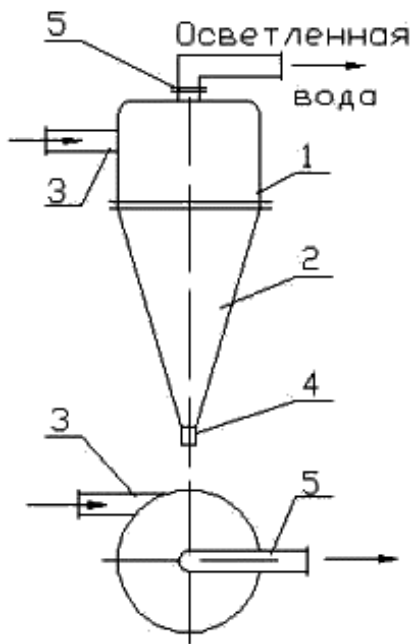
Принцип работы гидроциклона заключается в следующем (см. рис. 7.4, 7.5, 7.6).



1—тангенциальный штуцер; 2— сливной патрубком; 3—перегородка; 4— цилиндрический корпус; 5—коническое днище; 6—штуцер для выхода шлама (осадка)

Рис. 7.4 – Схема напорного гидроциклона

Обрабатываемая вода подводится к гидроциклону под давлением 0,05– 0,3 МПа. Попадая внутрь корпуса гидроциклона, крупные примеси воды отжимаются центробежной силой к стенкам, а в центре собирается осветлённая вода. При этом образуются две спирали воды: внешняя спираль (исходная вода, подаваемая в гидроциклон), направлена вниз, а внутренняя спираль (очищенная от примесей вода), направлена вверх. Через диафрагму и сливной патрубком осветлённая вода отводится в верхнюю цилиндрическую часть (сборную камеру), а затем по трубопроводу за пределы аппарата.



1—цилиндрический корпус; 2—коническое дно; 3—трубопровод подачи исходной воды; 4—штуцер для выхода шлама (осадка); 5—трубопровод отвода осветлённой воды

Рис. 7.5 – Схема безнапорного гидроциклона

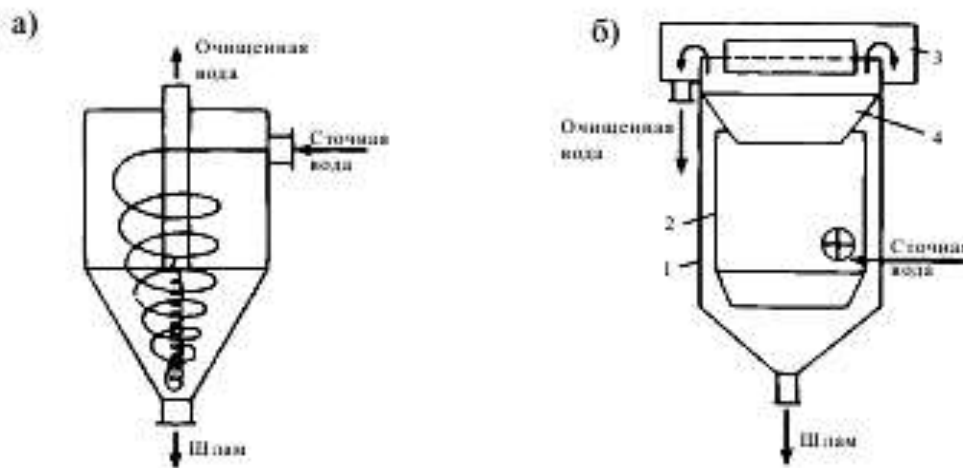


Рис. 7.6 – Схемы гидроциклонов

а) напорный; б) безнапорный с внутренним цилиндром и конической диафрагмой

Производительность гидроциклона (в м³/ч) определяется по формуле:

$$Q = 3600\alpha \cdot \mu_2 \cdot F \sqrt{2g\Delta H}$$

где: α – коэффициент, учитывающий потери воды в осадке, $\alpha = 0,85-0,9$;

μ_2 – коэффициент расхода гидроциклона;

F – площадь сечения патрубка подачи исходной воды, м²;

ΔH – потеря напора в гидроциклоне

Выпускают гидроциклоны промышленностью серийно с диаметром цилиндрической части 75, 150, 250, 350, 500 мм.

8.1. Теоретические основы процесса осаднения взвеси

Осаждение взвешенных частиц происходит под действием силы тяжести. Современные конструкции отстойников являются проточными, т.е. осаднение взвеси в них происходит при непрерывном движении воды от входа к выходу. Поэтому скорости движения жидкости в отстойниках малы: это десятые доли мм/с в вертикальных отстойниках и несколько мм/с – в горизонтальных, радиальных и тонкослойных. При таких малых скоростях поток полностью теряет свою транспортирующую способность, обусловленную интенсивным турбулентным перемешиванием. Осаждение взвеси в потоке, движущемся с очень малой скоростью (почти лишенном транспортирующей способности), подчиняется, с известным приближением, законам осаднения в неподвижном объеме жидкости. Эти законы хорошо изучены для осаднения агрегативно устойчивой взвеси, частицы которой не слипаются, не изменяют формы и объема. Это явление имеет практическое значение для отстойников, применяемых в технологии очистки воды. Осаждение неустойчивой (скоагулированной) взвеси, способной агломерироваться и слипаться в процессе осаднения, изучено в меньшей степени.

Учитывая это, при рассмотрении теоретических основ осаднения взвеси, допускается:

- 1) применение к явлению осаднения в отстойнике закономерностей, присущих в неподвижном объеме жидкости;
- 2) предполагается, что в отстойнике осаждаются агрегативно-устойчивая взвесь, хотя в реальности существует вероятность её слипания и укрупнения в процессе осаднения.

На характер осаднения взвеси влияют размер частиц, форма, режим движения осветляемой воды и ее вязкость, изменяющаяся с температурой.

Мутные воды – это всегда полидисперсная система. При коагуляции приходится иметь дело с осаднением агрегативно неустойчивой взвеси, частицы которой в процессе осаднения меняют свою структуру и размеры. Все это осложняет математическое выражение законов осаднения и получения точных методов расчета отстойников.

Скорость осаднения частиц малого размера при малых скоростях (при значении числа Рейнольдса $Re < 1$) может быть определена по формуле Стокса:

$$u = \frac{(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}})g \cdot d^2}{18\mu} \quad (1)$$

где: $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы, кг/м³; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³; d – диаметр частицы, определенный как диаметр равновеликого по объему шара, м; μ – динамическая вязкость жидкости, Па · с; g – ускорение свободного падения.

Скорость выпадения частиц u , мм, при $t = 10$ °С называется гидравлической крупностью частицы, и именно этот параметр является определяющим при расчёте отстойников. Формула (1) применима в области действия линейного

закона сопротивления. Это выражение может быть использовано практически для монодисперсной взвеси. Если взвесь полидисперсная, то ее характеристики получают эмпирическим путем в лаборатории.

8.2. Технологическое моделирование процесса осаждения

Оно состоит в определении в лабораторных условиях расчётных параметров отстойников: расчётной скорости осаждения взвеси и продолжительности пребывания воды в отстойнике, которые обеспечивают заданный эффект осаждения.

В лабораторных условиях имитируют процесс осаждения взвеси в цилиндрах при различных продолжительностях отстаивания, контролируя при этом количество взвеси, оседающей за различные периоды времени и эффект осветления (рисунок 8.1).

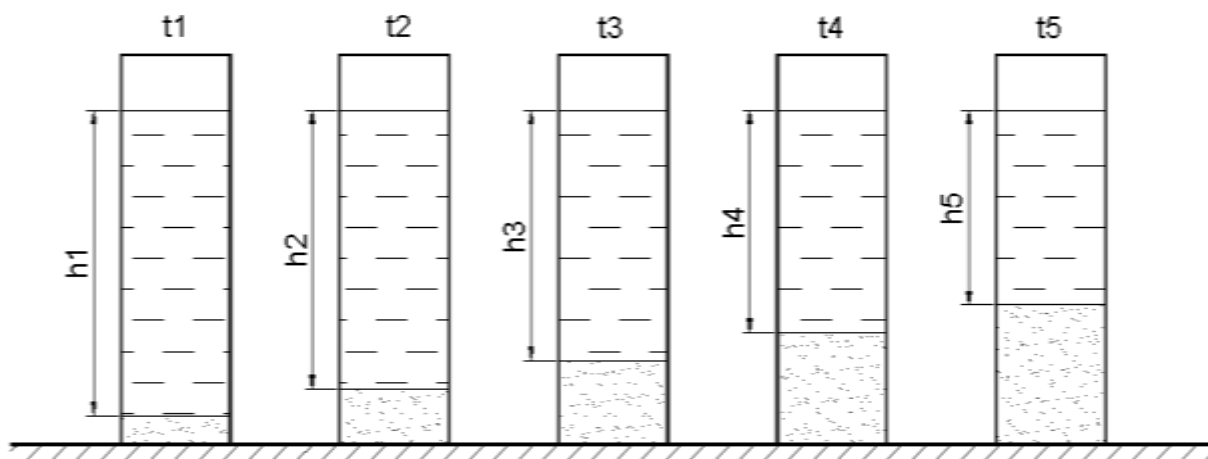


Рисунок 8.1 – Технологическое моделирование процесса осаждения

$h_1, h_2 \dots h_5$ – высота слоя воды в цилиндрах, м;

$t_1, t_2, \dots t_5$ – продолжительность отстаивания взвеси, ч;

$U_1, U_2 \dots U_5$ – «процентные скорости» осаждения взвеси, эти величины имеют размерность скорости, но не являются физическими скоростями осаждения частиц взвеси.

$$U_1 = \frac{h_1}{t_1} ; U_2 = \frac{h_2}{t_2} \text{ и т.д.} \quad (2)$$

Если взвесь монодисперсна, т.е. состоит из частиц одинаковой или примерно одинаковой гидравлической крупности, то количество взвеси m , выпавшей за время t , составит

$$m = C_{исх} \cdot F \cdot t \cdot U \quad (3)$$

где F – площадь цилиндра, м²;

$C_{исх}$ – концентрация взвеси в исходной воде, мг/л;

t – продолжительность отстаивания, ч;

U – скорость осаждения частицы, м/ч.

Количество взвеси (массовое содержание) в исходной воде до начала осаждения

$$m_0 = C_{исх} \cdot F \cdot h \quad (4)$$

где h – высота воды в цилиндре до начала осаждения, м.

Относительное количество выпавшей взвеси (эффект осаждения)

$$P = \frac{m}{m_0} = \frac{C_{исх} \cdot F \cdot t \cdot U}{C_{исх} \cdot F \cdot h} = \frac{t \cdot U}{h} \quad (5), \quad \text{откуда}$$

$$U = \frac{P \cdot h}{t} \quad (6)$$

Вода, попадающая в отстойник, состоит из частиц различного диаметра, их гидравлическая крупность различна. Такая взвесь называется полидисперсной. Строят график зависимости относительного количества выпавшей полидисперсной взвеси P , %, от продолжительности отстаивания t , ч (мин), (Рис. 8.2).

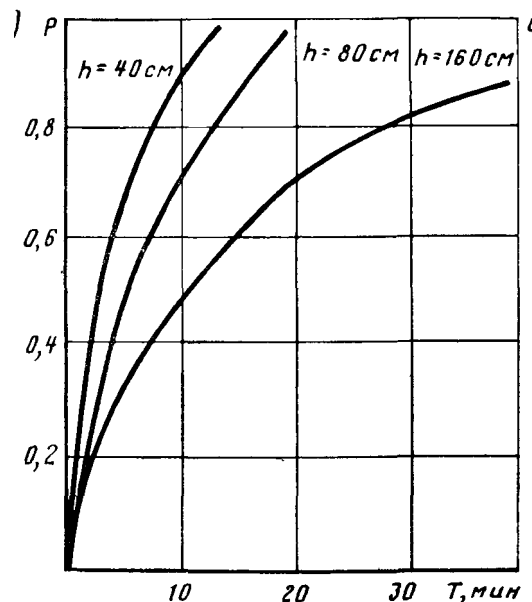


Рисунок 8.2 – График зависимости относительного количества выпавшей полидисперсной взвеси P , %, от продолжительности отстаивания t , ч (мин)

Эффект осветления \mathcal{E} , %, определяется

$$\mathcal{E} = \frac{C_{исх} - C_i}{C_{исх}} \quad (7)$$

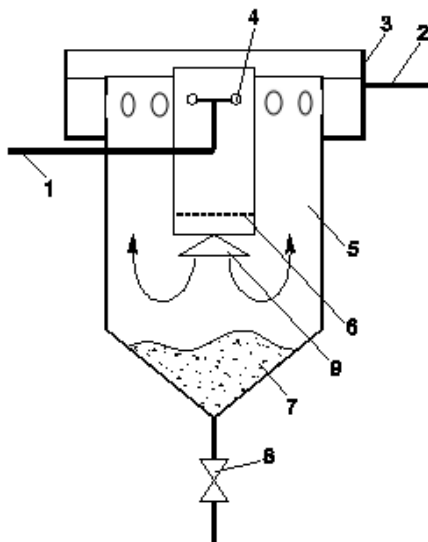
где $C_{исх}$ – концентрация взвешенных веществ в исходной воде, мг/л;

C_i – содержание взвешенных веществ в воде в момент времени t_i (10, 20, 30 мин), мг/л;

По результатам строят кривую осаждаемости взвеси, которая представляет зависимость эффекта осветления \mathcal{E} , %, от продолжительности отстаивания (времени осветления) воды, ч.

8.3. Конструкции отстойников, область их применения, проектирование и расчет

Вертикальные отстойники (рисунок 8.3) выполняются круглыми в плане резервуарами диаметром от 5 до 10 м, глубиной до 7 м, оборудованными камерами хлопьеобразования водоворотного или контактного типа и конусным днищем для накопления и уплотнения осадка.



1 – трубопровод подачи исходной воды; 2 – трубопровод отвода осветленной воды; 3 – кольцевой водосборный лоток; 4 – водоворотная камера хлопьеобразования; 5 – зона осветления воды; 6 – гаситель вращательного движения; 7 – зона накопления и уплотнения осадка; 8 – трубопровод сброса осадка; 9 – конус-отражатель

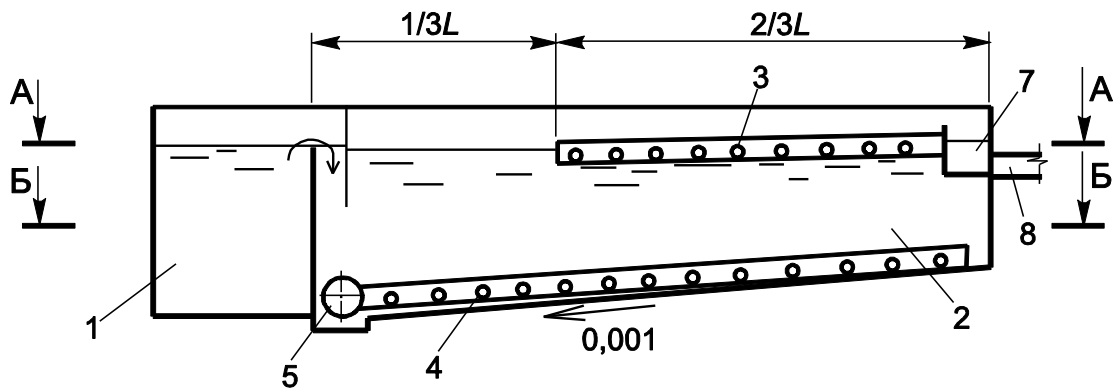
Рисунок 8.3 – Схема вертикального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования водоворотного типа

Расчет и проектирование вертикального отстойника, без установки в нем тонкослойных блоков, следует производить согласно СН 4.01.01-2019 (9.4.1) для двух периодов эксплуатации:

– минимальной мутности – при минимальном расходе воды в зимний период;

– наибольшей мутности – при максимальном расходе воды, соответствующем этому периоду; по разделу 9.1 Пособия П1.

Горизонтальный отстойник выполняется в виде железобетонного прямоугольного в плане, удлиненного в направлении движения воды резервуара, в котором осветляемая вода движется в направлении, близком к горизонтальному (рисунок 8.4). Отстойник оборудуется водораспределительным и водосборным устройствами, трубопроводами для подвода осветляемой воды и отвода осветленной воды, а также системой удаления осадка. Горизонтальные отстойники следует предусматривать с рассредоточенным по площади сбором воды.



1 – камера хлопьеобразования, встроенная в отстойник; 2 – горизонтальный отстойник; 3 – дырчатые трубы для сбора осветленной воды; 4 – дырчатые трубы для сбора осадка; 5 – трубопровод выпуска осадка; 7 – сборный лоток осветленной воды; 8 – трубопровод отвода осветленной воды

Рисунок 8.4 – Схема горизонтального отстойника

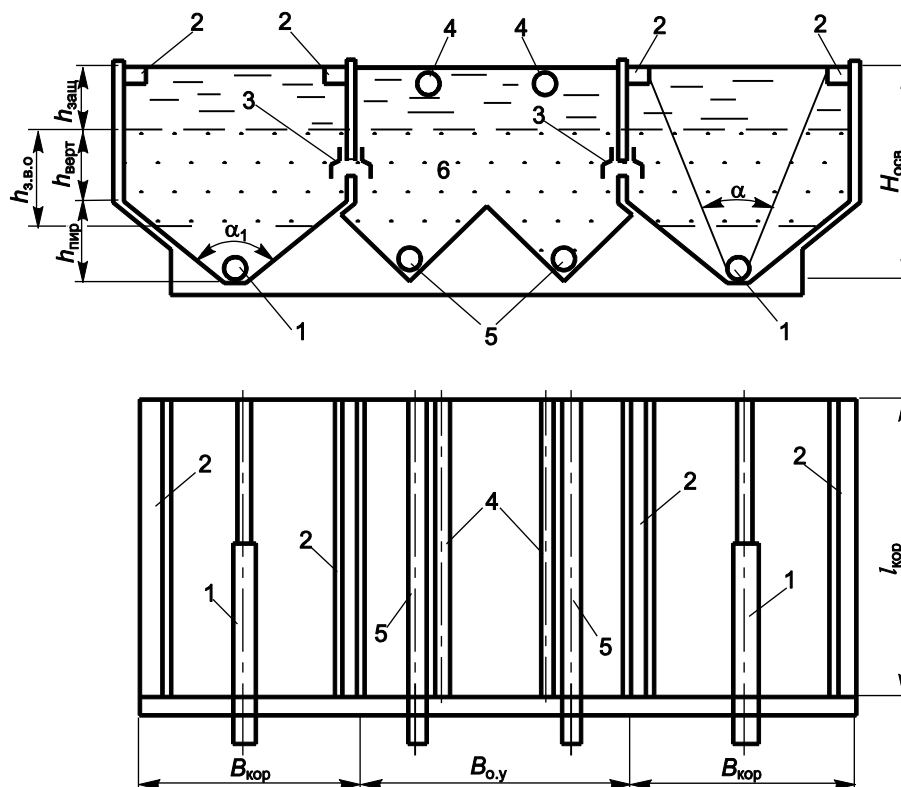
Расчет и проектирование горизонтальных отстойников следует производить согласно СН 4.01.01-2019 (9.4.1) также для двух периодов эксплуатации; по разделу 9.2 Пособия П1-2019.

Тема 9. Осветление воды в слое взвешенного осадка

#Теоретический раздел

9.1. Конструкция осветлителя со слоем взвешенного осадка

Осветлители со слоем взвешенного осадка проектируют с учётом годовых колебаний состава обрабатываемой воды. Схема осветлителя со слоем взвешенного осадка приведена на рисунке 9.1.



1 – водораспределительный дырчатый коллектор; 2 – водосборные желоба; 3 – осадкоприемные окна; 4 – дырчатые трубы для отвода осветленной воды из осадкоуплотнителя; 5 – дырчатые трубы для удаления осадка из осадкоуплотнителя; 6 – осадкоуплотнитель

Рисунок 9.1 – Схема осветлителя коридорного типа со слоем взвешенного осадка

Вода после смешения с реагентами по водораспределительным дырчатым телескопическим коллекторам 1 снизу вверх равномерно распределяется в зонах осветления воды, т.е. вода проходит через слой взвешенного осадка. Взвешенные в потоке хлопья находятся в непрерывном хаотическом движении. При этом взвешенный слой в целом остаётся неподвижным.

Вода в зонах осветления собирается водосборными желобами 2, а в зоне уплотнения осадка (осадкоуплотнителе 6) – дырчатыми трубами 4. Увеличивающийся в процессе эксплуатации осветлителя слой взвешенного осадка в зонах осветления перемещается через осадкоприёмные окна 3 в зону уплотнения осадка, где уплотняется и удаляется по дырчатым трубам 5.

Водораспределительный дырчатый коллектор принимают телескопической формы с учётом того, чтобы скорость восходящего потока исходной воды была одинаковой по длине коридоров осветлителя (например, 350, 300, 250 мм).

Высоту слоя взвешенного осадка следует принимать от 2 до 2,5 м.

Низ осадкоприемных окон или кромку дырчатых труб для удаления осадка из осадкоуплотнителя следует располагать на 1–1,5 м выше перехода наклонных стенок зоны взвешенного осадка осветлителя в вертикальные стенки. Угол между наклонными стенками нижней части зоны взвешенного осадка следует принимать от 60° до 70°.

9.2. Теоретические основы процесса осветления воды в слое взвешенного осадка

Осветлители со слоем взвешенного осадка используются для удаления из воды коллоидных и взвешенных примесей. Технологическую схему с осветлителями со слоем взвешенного осадка и скорыми фильтрами применяют на водоочистных станциях с производительностью свыше 5000 м³/сут для осветления и обесцвечивания воды с содержанием взвешенных веществ не более 1500 мг/л и цветностью не более 120 градусов. В основу работы осветлителей положен принцип контактной коагуляции в слое взвешенного осадка. При поддержании определенной скорости восходящего потока воды в зоне осветлителя от 0,5 до 1,1 мм/с (в зависимости от мутности воды, поступающей в осветлитель в зимний или летний период), формируется слой взвешенного осадка из скоагулированной взвеси в виде мелких хлопьев. Этот слой играет роль фильтра, способствуя лучшему осветлению воды и обесцвечиванию за счет более полного использования адсорбционной емкости хлопьев.

Вода после смешения с реагентами по водораспределительным дырчатым телескопическим коллекторам снизу вверх проходит через слой взвешенного осадка. Взвешенные в потоке хлопья непрерывно хаотически движутся, но весь слой в целом остаётся неподвижным. Это происходит потому, что скорость восходящего потока воды равна средней скорости осаждения хлопьев $V_{хл}$. Эта скорость хлопьев $V_{хл}$ во взвешенном слое значительно меньше гидравлической крупности хлопьев $u_{хл}$, то есть работа осветлителя основана на так называемом стеснённом осаждении частиц. Мелкие частицы (примеси), содержащиеся в исходной воде, прилипают к крупным частицам взвешенного слоя, т.е. протекает процесс контактной коагуляции. Средний размер хлопьев взвешенного осадка определяется соотношением между силами внутреннего сцепления частиц и внешними силами трения, которые действуют на поверхности хлопьев при их обтекании потоком жидкости. Для устойчивой работы осветлителя необходимо поддерживать постоянный расход воды, а температура воды должна изменяться в пределах $\pm 1^{\circ}$ в течение часа. Каждому значению скорости потока соответствует определённая в данных условиях концентрация частиц, т.е. чем больше скорость, тем меньше концентрация, и наоборот. Когда скорость потока приближается к скорости свободного осаждения частиц взвешенного слоя,

взвешенный слой расплывается и происходит вынос взвешенных частиц потоком воды. При минимальной скорости воды по водораспределительным дырчатым телескопическим коллекторам 1 частицы будут плотной массой опускаться на дно, т. к. при минимальной скорости силы гидродинамического воздействия на частицу будут меньше силы тяжести. Таким образом, теоретические основы процесса осветления воды в слое взвешенного осадка заключаются в двух принципах:

- 1) работа осветлителя основана на процессе стеснённого осаждения;
- 2) процесс осветления имеет физико-химическую природу, а именно процесс прилипания мелких частиц взвеси, содержащихся в исходной воде, к крупным частицам взвешенного слоя называется контактной коагуляцией.

Тема 10. Осветление воды фильтрованием

#Теоретический раздел

10.1. Классификация фильтров

по принципу действия; по виду фильтрующей среды. Классификация зернистых фильтров: по скорости фильтрования; по давлению, под которым они работают; по направлению фильтрующего потока; по крупности фильтрующего материала; по количеству фильтрующих слоёв

Классификация фильтров по принципу действия:

– процеживание: размеры пор фильтрующего материала меньше размеров задерживаемых частиц;

– пленочное фильтрование: при определенных условиях после некоторого начального периода фильтрующий материал обволакивается пленкой взвешенных веществ, на которой могут задерживаться частицы даже более мелкие, чем размер пор фильтрующего материала: коллоиды, мелкие бактерии, крупные вирусы;

– объемное фильтрование: взвешенные частицы, проходя через слой фильтрующего материала, многократно изменяют направление и скорость движения в щелях между гранулами и волокнами фильтрующего материала; таким образом, грязеёмкость фильтра может быть довольно большой – больше, чем при пленочном фильтровании.

Классификация зернистых фильтров.

По виду фильтрующей среды:

- тканевые или сетчатые;
- каркасные или намывные;
- зернистые.

По скорости фильтрования:

- медленные (0,1-0,3 м/ч);
- скорые (5-12 м/ч);
- сверхскоростные (36-100 м/ч).

По давлению, под которым они работают:

- открытые или безнапорные;
- напорные.

По количеству фильтрующих слоев:

- однослойные;
- двухслойные;
- многослойные.

По направлению фильтрующего потока:

- однопоточные (обычные скорые фильтры);
- двухпоточные;
- многопоточные.

По крупности фильтрующего материала:

- мелкозернистые (размер зёрен верхнего слоя песка 0,1-0,3 мм);

- среднезернистые(размер зёрен верхнего слоя песка 0,5-0,8 мм);
- крупнозернистые(размер зёрен верхнего слоя песка 1-2 мм).

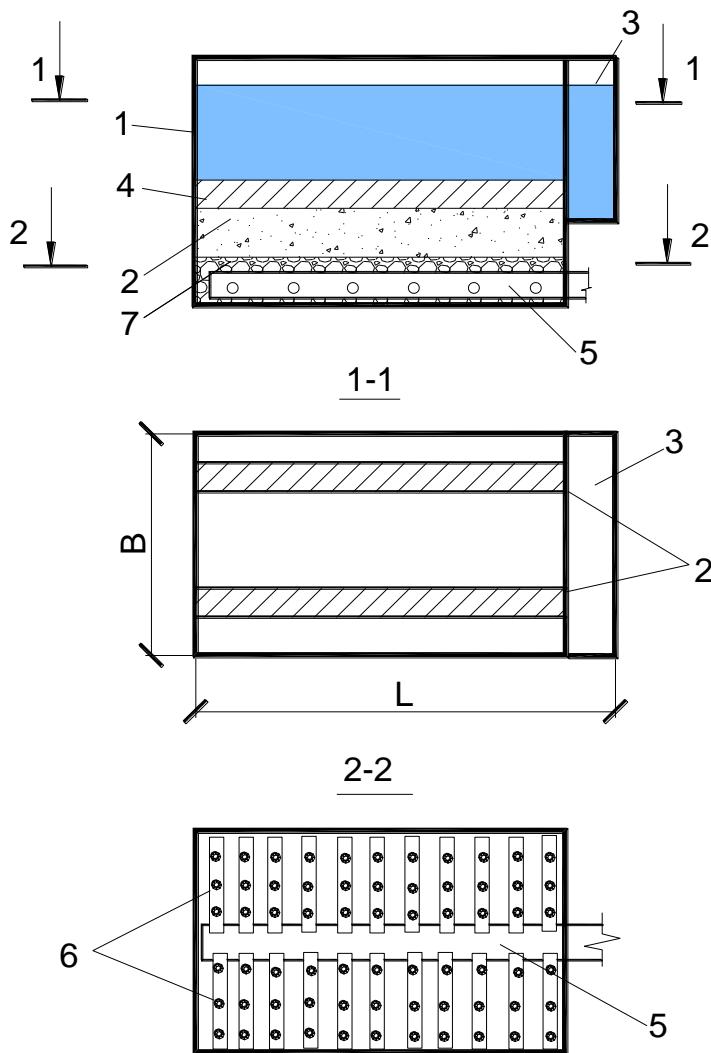
Вода, поступающая на скорые фильтры после отстойников (горизонтальных или вертикальных), или после осветлителей со слоем взвешенного осадка, не должна содержать взвешенных веществ более 25 мг/л (мг/дм³); а после фильтрования мутность воды (содержание взвешенных веществ), предназначенной для питьевых нужд, не должна превышать 1,5 мг/л.

Фильтры следует проектировать в соответствии с требованиями ТКП 45-4.01-320 (раздел 9.7).

10.2. Конструкция и проектирование скорого безнапорного осветлительного фильтра с боковым сборным карманом (каналом)

В качестве фильтрующих загрузок фильтров применяют кварцевый песок, дробленый керамзит, дроблёный антрацит или другие зернистые материалы с соответствующей механической прочностью и химической стойкостью (п. 9.7.1.2 СН 4.01.01-2019).

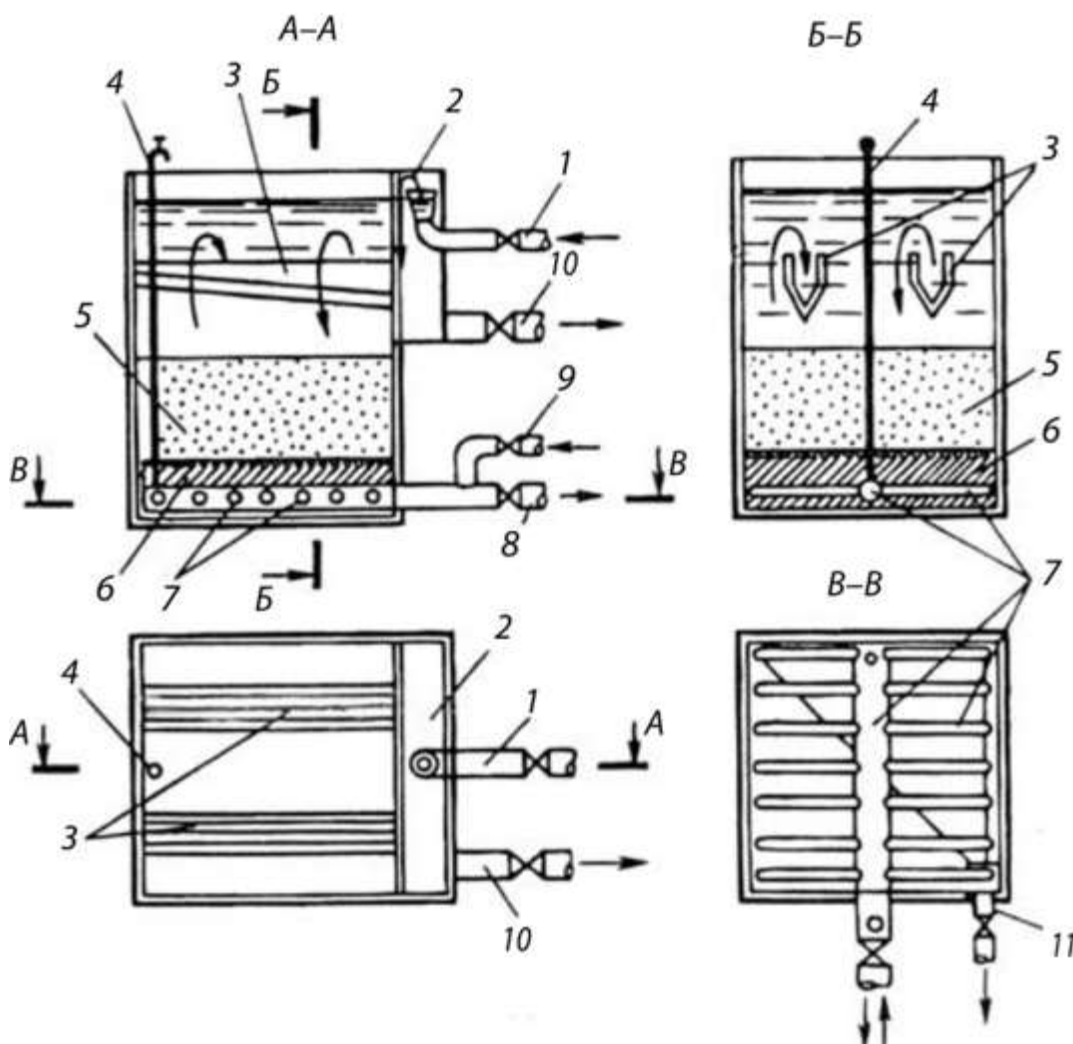
В зависимости от площади фильтрования скорые фильтры могут быть: с боковым сборным каналом (карманом) или с центральным сборным каналом. Если при расчёте площадь одного фильтра F_1 меньше 30 м², то принимается к проектированию конструкция фильтра с боковым сборным каналом (рис. 10.1), если F_1 больше 30 м² – то с центральным сборным каналом.



1 – корпус фильтра; 2 – слой фильтрующей загрузки; 3 – боковой сборный канал (карман); 4 – водораспределительные (сборные) желоба для подачи исходной воды и для сбора грязной промывной воды; 5 – коллектор дренажной распределительной системы для сбора профильтрованной воды и для равномерного распределения подачи промывной воды на промывку; 6 – ответвления (дырчатые трубы) распределительной системы; 7 – поддерживающие слои.

Рис. 10.1 – Схема скорого безнапорного осветлительного фильтра с боковым сборным каналом

Ниже на рисунке 10.2 также приведены планы и разрезы скорого безнапорного (открытого) осветлительного фильтра с боковым сборным каналом.

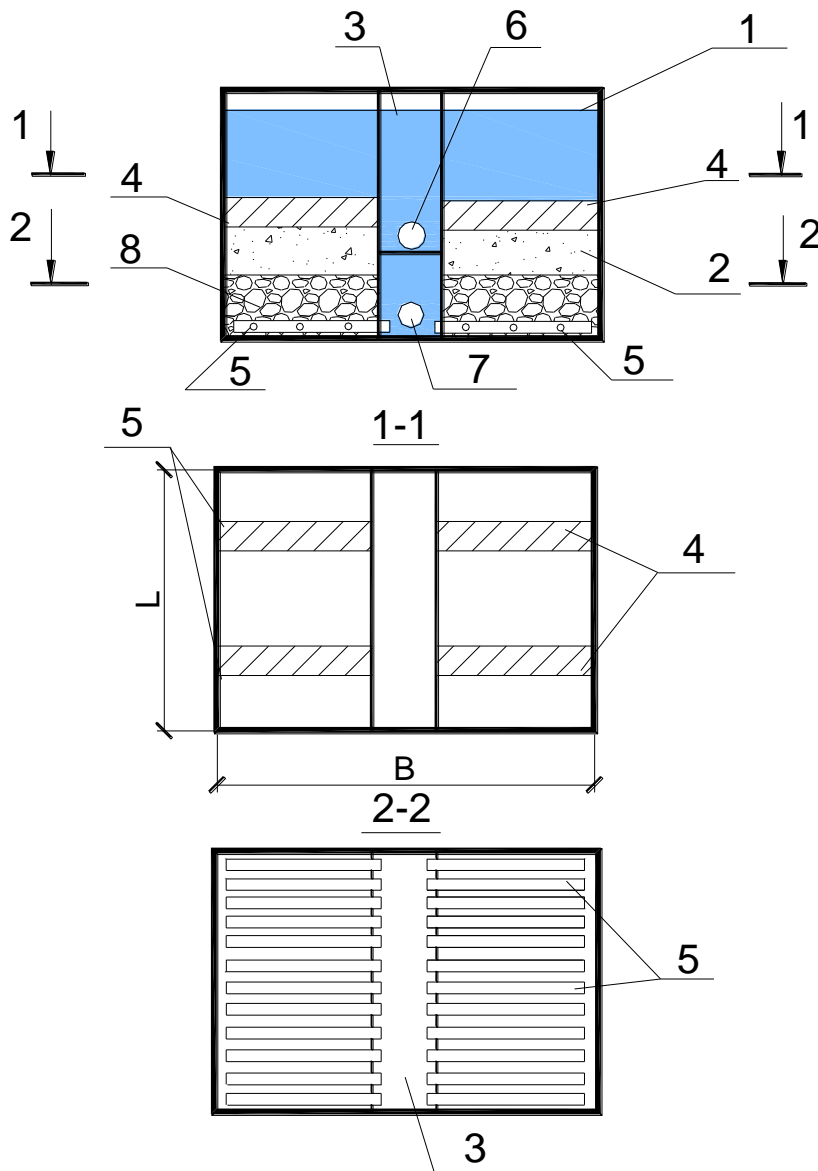


1 – трубопровод подачи исходной воды на фильтр; 2 – боковой карман; 3 – водораспределительные (сборные) желоба; 4 – воздушник; 5 – фильтрующий слой (кварцевый песок, дроблёный керамзит); 6 – поддерживающий слой (гравий, щебень); 7 – дренажная распределительная система; 8 – трубопровод отвода фильтрованной воды; 9 – трубопровод подачи промывной воды; 10 – трубопровод отвода грязной промывной воды; 11 – трубопровод опорожнения фильтра

Рис. 10.2 – Схема скорого безнапорного (открытого) осветлительного фильтра с боковым сборным каналом

10.3. Конструкция и проектирование скорого безнапорного осветлительного фильтра с центральным сборным карманом (каналом)

На рисунке 10.3 приведены планы и разрезы скорого безнапорного (открытого) осветлительного фильтра с центральным сборным каналом (карманом).



1 – корпус фильтра; 2 – слой фильтрующей загрузки; 3 – центральный сборный канал, поделённый глухой перегородкой на 2 отделения; 4 – водораспределительные (сборные) желоба; 5 – дырчатые трубы распределительной системы; 6 – трубопровод подачи исходной воды; 7 – трубопровод, примыкающий к нижнему торцу центрального канала, предназначен для отвода фильтрата и для подачи промывной воды; 8 – поддерживающие слои

Рис. 10.3 – Схема осветлительного фильтра с центральным сборным каналом

10.4. Теоретические основы фильтрования воды через зернистые материалы (теория фильтрования Д. М. Минца)

Согласно теории фильтрования Минца, процесс фильтрования рассматривается как 2 взаимосвязанные стадии: 1) Само осветление воды, в процессе которого идёт изъятие загрязнений из воды и заполнение межпорового пространства загрузки этими загрязнениями. 2) 2-ая стадия протекает одновременно с первой и включает: накопление осадка в толще загрузки, уменьшение свободного объёма пор в загрузке, увеличение гидравлического сопротивления загрузки. Это всё приводит к росту потерь напора и увеличению гидравлического сопротивления фильтрующей загрузки. То есть, на второй стадии, осветление – это основной процесс, а увеличение прироста потери напора – это сопутствующий процесс.

Кинетика прилипания и отрыва частиц определяет ход процесса осветления воды по толщине слоя фильтрующей загрузки и во времени (рис. 10.4, где показаны кривые изменения концентрации взвеси в воде по высоте загрузки). Каждая кривая относится к определенному моменту времени. Кривая 1 характерна для начального периода процесса (t_1) после того, как первые порции фильтруемой воды пройдут через слой загрузки, а кривая 4 – предельному насыщению загрузки осадком (при времени t_4). Кривая 1 показывает, как изменяется концентрация взвеси в воде по высоте загрузки толщиной x_a только под действием сил прилипания.

По мере накопления осадка в загрузке явление отрыва ранее прилипших частиц начинает проявляться все более заметно. Характер кривых изменяется (рис. 10.4, кривые 2, 3, 4). Они показывают, что роль слоев загрузки, расположенных вблизи от поверхности, в процессе осветления воды уменьшается. После продолжительной работы фильтра насыщение этих слоев осадком становится предельным, и они перестают осветлять воду. На графике (рис. 10.4, кривая 4) отмечена толщина участка загрузки $X_{нас}$, которая находится в состоянии предельного насыщения к этому времени. $X_{нас}$ – толщина участка загрузки, который к моменту времени t_4 находится в состоянии предельного насыщения. По мере насыщения верхних слоев загрузки возрастает роль ниже расположенных, а толщина загрузки, необходимая для извлечения из воды взвеси, увеличивается. Затем наступает такой момент, когда вся толщина загрузки недостаточна для обеспечения необходимой степени осветления воды и концентрация взвеси на выходе из загрузки начинает возрастать (рис. 10.4, кривая 4).

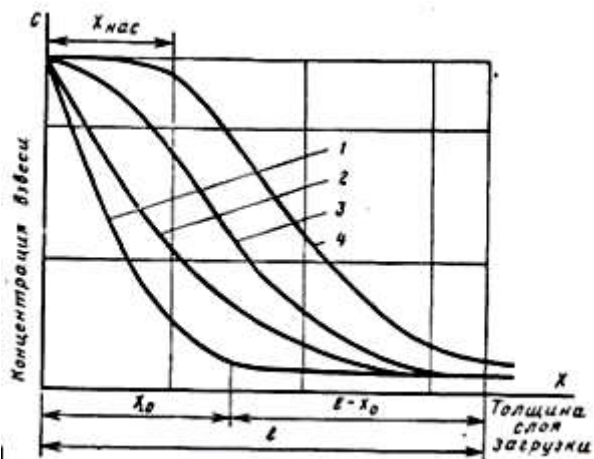


Рис. 10.4 – Кинетика осветления воды при фильтровании через зернистую загрузку

Время, в течение которого загрузка способна осветлить воду до требуемой степени, называется временем защитного действия загрузки. До достижения этого времени на выходе из загрузки получают воду надлежащего качества. По истечении времени защитного действия качество фильтрата начинает быстро ухудшаться (рис. 10.5).

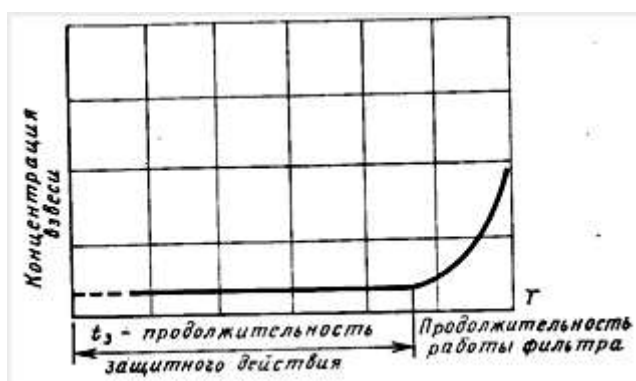


Рис. 10.5 – Изменение концентрации взвешенных веществ в профильтрованной воде в зависимости от времени

Выделим на модели фильтра элементарный слой загрузки толщиной Δx на расстоянии x от ее поверхности (рис. 10.6).

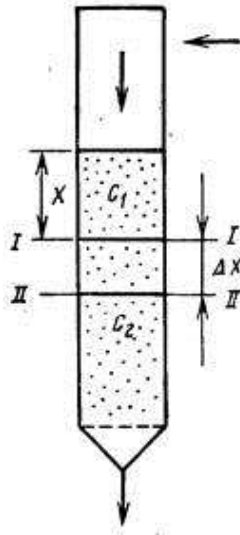


Рис. 10.6 – Модель фильтра

Согласно теории фильтрования Минца Д. М., время защитного действия загрузки t_3 может быть рассчитано по формуле:

$$t_3 = \frac{1}{k} \left(\frac{x}{v^{1,7} d^{0,7}} - \frac{X'_0 d}{v} \right) \quad (1)$$

$$t_3 = f(x, v, d)$$

где: x – толщина слоя загрузки, м; k и X'_0 – константы, значения которых зависят только от требуемого эффекта осветления C/C_0 (принимаются по номограммам Д. М. Минца); C_0 – начальная концентрации частиц в воде, поступающей на фильтр; C – средняя концентрация частиц в объеме выделенного слоя; v – скорость фильтрования, м/ч; d – диаметр зёрен загрузки, м (мм);

Согласно теории Д. М. Минца, сопутствующий процессу осветления процесс прироста потерь напора описывается другим уравнением, по которому определяется продолжительность фильтрования до момента достижения предельной потери напора. При линейном приросте потери напора в процессе фильтрования, его продолжительность до момента достижения предельной потери напора t_H определяется по формуле (применима только к однородным по размеру зерен загрузкам):

$$t_H = \frac{H_{np} - H_0}{\frac{h}{t}} \quad (2)$$

где: H_{np} – предельно допустимая потеря напора в загрузке фильтра, определяемая высотной схемой сооружений, м;

H_0 – начальная потеря напора в чистой загрузке, м;

h/t – темп прироста потери напора, м/сек;

Таким образом, согласно теории Минца, процесс фильтрования описывается двумя уравнениями. При проектировании фильтра надо стремиться к тому, чтобы, изменяя параметры: толщину слоя (x), скорость фильтрования (v) и диаметр зёрен загрузки (d), время защитного действия загрузки t_3 приблизить к

величине t_H – продолжительности фильтрования до момента достижения предельной потери напора t_n .

10.5. Оптимизация режима фильтрования

Соотношение между продолжительностью защитного действия загрузки и времени, в течение которого достигается предельная потеря напора, могут быть различные.

Когда $t_3 > t_n$ фильтр выключают на промывку в связи с тем, что дальнейший прирост потери напора невозможен, так как существующий напор, обусловленный расположением сооружений, расходуется на преодоление сопротивления загрузки. Так, условие $t_3 > t_n$ означает, что задерживающая способность загрузки используется не полностью, так как фильтр выключают на промывку (при предельной потере напора), хотя он мог бы еще в течение некоторого времени работать, выдавая воду требуемого качества.

Когда $t_3 < t_n$, фильтр выключают на промывку в связи с начинающимся ухудшением качества фильтрата. При $t_3 < t_n$ не полностью используется располагаемый напор, так как фильтр выключают на промывку (вследствие ухудшения качества фильтрата) в момент, когда потеря напора в загрузке не достигла своего максимума.

Когда $t_3 = t_n$, то моменты достижения предельной потери напора и начала ухудшения качества фильтрата совпадают. С технико-экономической точки зрения наилучшим соотношением является $t_3 = t_n$.

Тем не менее, с точки зрения санитарной надежности целесообразно принимать значение $t_3 / t_n > 1$, так как при этом в течение всего фильтроцикла гарантируется высокое качество фильтрата, повышается степень санитарной надежности сооружений. Чем больше отношение t_3 / t_n , тем выше степень санитарной надежности фильтров, но тем они дороже в строительстве и эксплуатации, так как с увеличением этого отношения растет неиспользуемый скрытый резерв производительности фильтров. Поэтому, основная идея расчета фильтрующих загрузок состоит в том, что исходят из определенного, заранее заданного отношения продолжительности защитного действия загрузки к времени, в течение которого достигается потеря напора ($t / t_n = 1,2 \dots 1,3$), обеспечивающего вместе с тем достаточную санитарную надежность и экономичность работы фильтров. Режим работы фильтровального аппарата, при котором обеспечивается указанное соотношение, может быть назван оптимальным.

При заданной производительности водопроводной станции по заданной скорости фильтрования и высоте слоя загрузки определяют требуемый гранулометрический состав фильтрующей загрузки по рекомендациям СН 4.01.01-2019 (раздел 9.7).

10.6. Конструкция и проектирование напорных вертикальных и горизонтальных фильтров

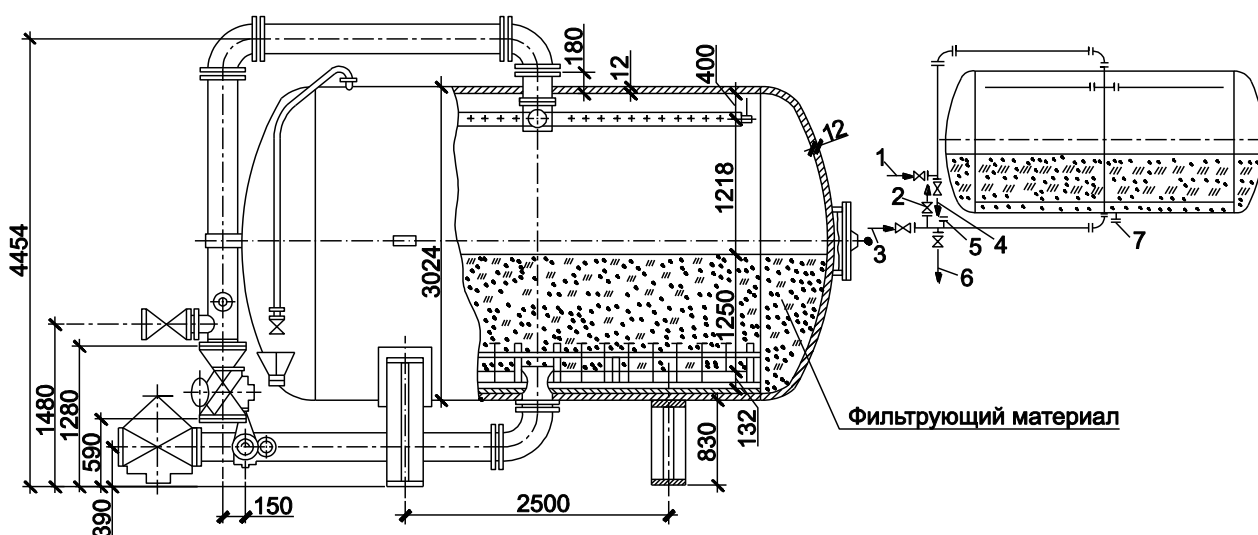
Скорые напорные фильтры широко используются для осветления воды

после обработки ее коагулянтами без предварительного отстаивания, а также при безреагентном осветлении воды, содержащей до 50 мг/л взвешенных веществ. Они представляют собой закрытые вертикальные или горизонтальные резервуары со сферическими днищами, рассчитанные на рабочее давление до 0,6 МПа. Напорные фильтры, как правило, не имеют гравийных поддерживающих слоев.

Эти фильтры, как и самотечные, имеют дренажную систему, фильтрующий слой и устройства для сбора фильтрата и отвода промывной воды. Кроме того, их оборудуют соответствующей арматурой для подвода и отвода фильтруемой воды, а также для подачи промывной воды и воздуха для продувки. Диаметр напорных фильтров – до 3,4 м, допускается увеличение скорости фильтрования до 20 м/ч и более, высоты слоя загрузки – до 3,0 м.

Проектирование напорных вертикальных или горизонтальных фильтров – см. ТКП 45-4.01-31 (8.1.23 – 8.1.26) или по рекомендациям изготовителя.

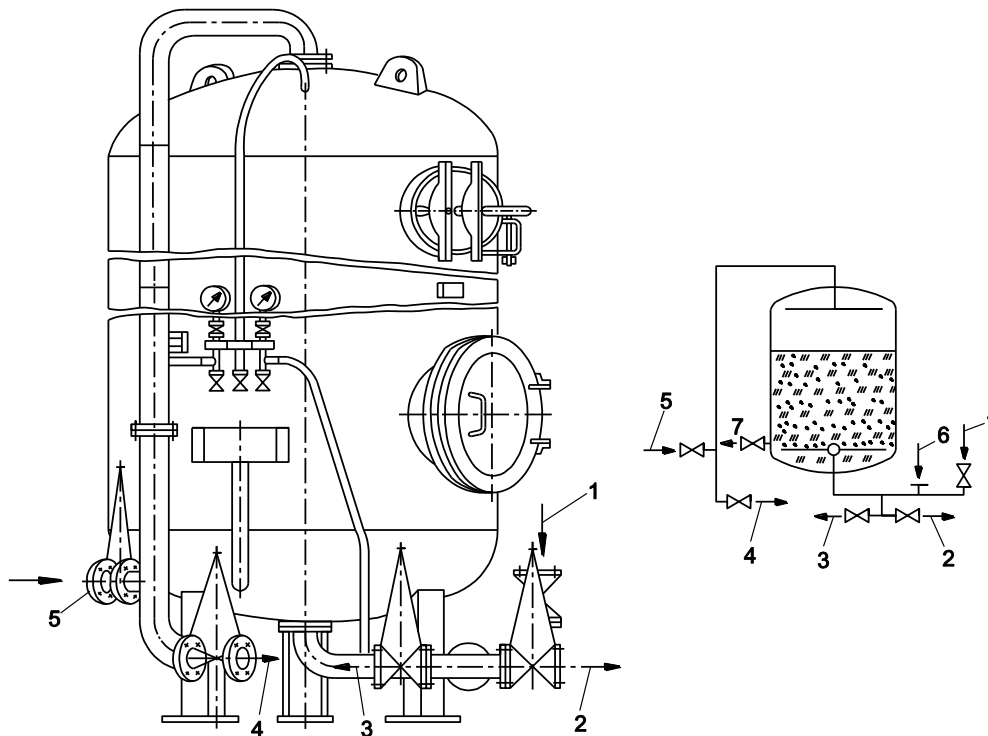
Схема осветлительного напорного горизонтального фильтра приведена на рисунке 10.7 (ТКП 45-4.01-180).



- 1 – подвод обрабатываемой воды; 2 – отвод фильтрованной воды; 3 – подвод промывной воды; 4 – отвод промывной воды; 5 – подвод воздуха; 6 – сброс первого фильтрата; 7 – гидравлическая выгрузка фильтрующего материала

Рисунок 10.7– Осветлительный напорный горизонтальный фильтр

Схема осветлительного напорного вертикального фильтра приведена на рисунке 10.8 (ТКП 45-4.01-180).



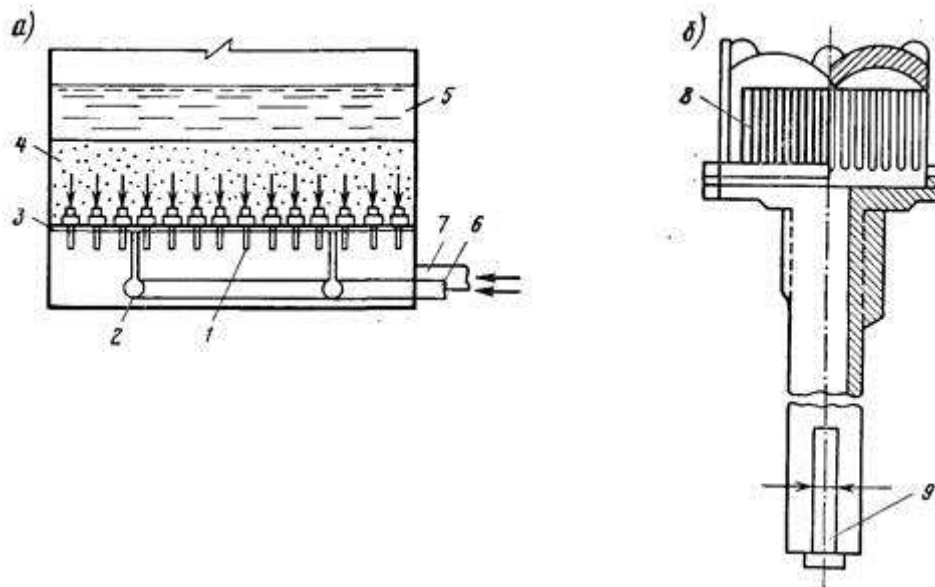
- 1 – подвод промывной воды; 2 – сброс первого фильтрата; 3 – отвод фильтрованной воды; 4 – отвод промывной воды; 5 – подвод обрабатываемой воды; 6 – подвод воздуха; 7 – гидравлическая выгрузка фильтрующего материала

Рисунок 10.8 – Осветлительный напорный вертикальный фильтр

10.7. Скорый напорный фильтр с колпачковым дренажем

В последние годы разработано много новых конструкций распределительных устройств. Из них наибольшее распространение получили: с трубчатым дренажем, щелевые, колпачковые системы, системы с применением пористых керамических или бетонных плит.

Колпачковые распределительные системы (рис. 10.9) представляют собой систему колпачков, монтируемых либо на сплошном днище в специальных отверстиях, либо на распределительной системе фильтра. Количество колпачков обычно 35–50 штук на 1 м² площади фильтра. Колпачки могут быть щелевые пластмассовые ВТИ-К или форфоровые ВТИ. Предназначены для осуществления водовоздушной промывки. Скорость движения воды или водовоздушной смеси в щелях колпачков не более 1,5 м/с. Общая площадь щели всех колпачков 0,8–1 % от площади фильтра. Устраиваются колпачки в фильтрующей загрузке, где нет поддерживающих слоёв.

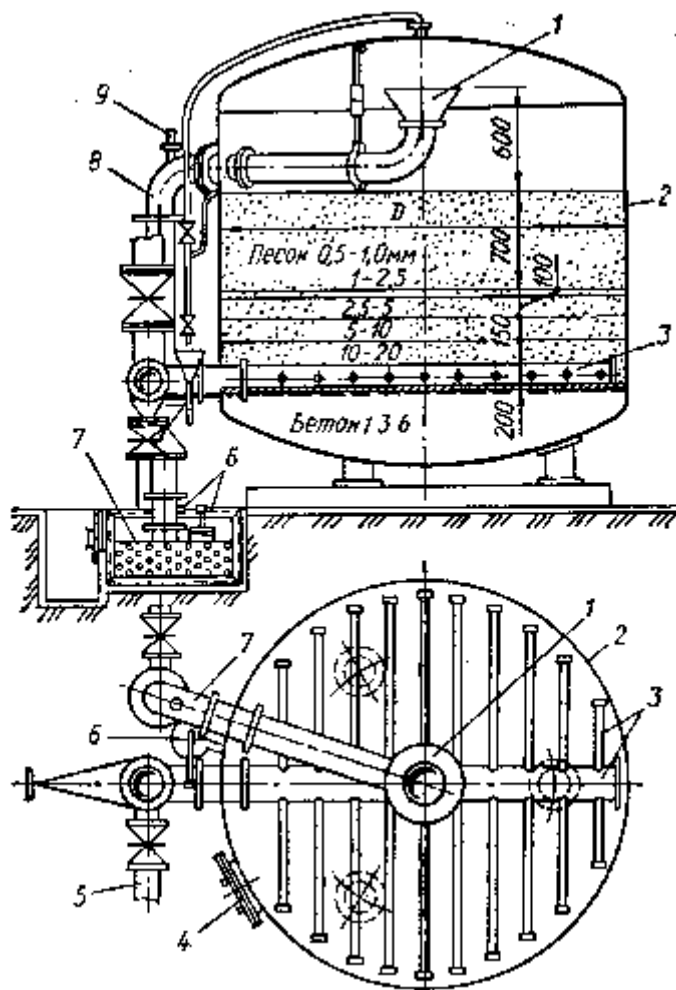


а – колпачковый дренаж; б – колпачок В-1; 1 – длиннохвостый щелевой колпачок; 2 – воздухораспределитель; 3 – "ложное дно" в виде железобетонной плиты; 7 – трубопровод подачи воды; 4 – фильтрующая загрузка; 5 – "водяная подушка"; 6 – трубопровод подачи воздуха; 7 – трубопровод подачи воды; 8 – щели; 9 – щель для входа воздуха;

Рис. 10.9 – Распределительная (дренажная) система с колпачками В-1

10.8. Скорый напорный фильтр с трубчатым дренажем

Схема вертикального напорного фильтра с трубчатым дренажем приведена на рисунке 10.10.



1 – распределительно-сборная воронка; 2 – корпус; 3 – дренажная система для отвода осветлённой воды и для подачи промывочной воды; 4 – люк; 5 – трубы для отвода фильтрата; 6 – поплавок; 7 – лоток для промывочной воды; 8 – трубопровод; 9 – предохранительный клапан

Рис. 10.10 – Схема вертикального напорного фильтра с трубчатым дренажём

Исходная вода поступает в корпус напорного фильтра 2 по трубопроводу 8, где распределяется воронкой 1. Пройдя фильтрующую загрузку, вода собирается дренажной системой 3 и по трубе 5 отводится из фильтра. Вода на промывку подаётся в обратном направлении через дренажную систему 8, проходит слой загрузки снизу вверх, собирается сборной воронкой 1 и по трубе 8, имеющей предохранительный клапан 9, отводится в лоток 7. Интенсивность промывки регулируется дроссельным клапаном с поплавком 6. На боковой поверхности имеются смотровые люки 4.

10.9. Сущность теории промывки фильтров, разработанная Д.М. Минцем и С.А. Шубертом

Наиболее полно теория промывки фильтров разработана Д.М. Минцем и С.А. Шубертом. Сущность разработанной ими теории сводится к следующим основным положениям:

1. При промывке зерна фильтрующей загрузки переходят во взвешенное состояние, и весь слой фильтрующего материала расширяется при достижении некоторой критической скорости восходящего движения промывной воды. Расширение слоя тем больше, чем больше интенсивность промывки. При этом каждой скорости восходящего потока воды при данной ее температуре соответствует вполне определенная степень расширения загрузки.

2. При достижении предельного расширения (для данной восходящей скорости) устанавливается динамическое равновесие расширившегося слоя, хотя зерна его и пребывают в непрерывном хаотическом движении. При равновесии расширившегося слоя равнодействующая всех сил, действующих на этот слой, равна нулю.

Взвешенный слой загрузки находится под действием двух противоположно направленных сил: 1) силы тяжести G , направленной вертикально вниз и равной массе фильтрующей загрузки в воде; 2) разности сил давления на нижнюю и верхнюю поверхности взвешенной загрузки; эта сила, отнесенная к 1 м^2 поверхности фильтра, может быть выражена через Δp . Поскольку система находится в равновесии, то очевидно, что $G = \Delta p$. Величины G и Δp можно выразить следующим образом:

$$G = (\rho_z - \rho_v) \cdot g \cdot (1 - n_0) \cdot h_1 \quad (1)$$

$$\Delta p = \rho_v \cdot g \cdot H \quad (2)$$

где ρ_z – плотность материала загрузки, г/см³;

ρ_v – плотность воды; г/см³;

g – ускорение свободного падения, Н·м/с²;

h_1 – высота фильтрующего слоя до расширения загрузки, см;

n_0 – пористость фильтрующей загрузки до расширения;

H – потеря напора во взвешенном слое, см.

Приравнявая приведенные уравнения (1) и (2) и решая их относительно H , получим:

$$H = \frac{\rho_z - \rho_v}{\rho_v \cdot (1 - n_0) \cdot h} \quad (3)$$

Уравнение (3) показывает, что потеря напора в слое взвешенной загрузки для данных условий работы фильтра есть величина постоянная, не зависящая от скорости восходящего движения воды, т.е. от интенсивности промывки.

Кроме того, выведена формула для определения скорости восходящего потока воды:

$$v = \left(\frac{g}{A \cdot 6^{1,7}} \right)^{0,77} \cdot \frac{(\rho_z - 1)^{0,77} \cdot d^{1,31}}{\theta^{1,31} \cdot \mu^{0,54}} \cdot \frac{(e + n_0)^{2,31}}{(e + 1)^{1,77} \cdot (1 - n_0)^{0,54}} \quad (4)$$

где: A – постоянная величина (для определенного интервала значений числа Re), не зависящая от формы зерен загрузки;

n_0 – пористость плотно лежащей загрузки, %;

e – относительное расширение загрузки при ее промывке, %;

d – диаметр шаровых зерен загрузки, см;

μ – динамическая вязкость, Па сек;

θ – коэффициент формы загрузки;

Формула (4) показывает, что для достижения одного и того же значения относительного расширения загрузки скорость восходящего потока воды должна быть тем больше, чем больше плотность материала загрузки ρ_3 и диаметр d зерен загрузки (параметры в числителе); необходимая скорость v уменьшается с увеличением динамической вязкости воды μ (т.е. при низких температурах воды), и с увеличением коэффициента формы зёрен загрузки θ , т.е. для угловатых частиц (параметры в знаменателе).

Формула (4) выведена для однородных загрузок, имеющих зерна одинаковой крупности. В действительности фильтрующие загрузки всегда состоят из зерен различного размера. Для таких загрузок величина d в формуле (4) заменяется величиной эквивалентного диаметра зерен $d_{\text{экв}}$, см, которая определяется по формуле:

$$d_{\text{экв}} = \frac{100}{\sum \left(\frac{P_i}{d_k} \right)} \quad (5)$$

где P_i – процентное содержание по массе фракций со средним диаметром зёрен d_k (количество просеиваемых зёрен, оставшихся на сите калибром d_k).

10.10. Крупнозернистые (грубозернистые) фильтры

Крупнозернистые фильтры проектируют в соответствии с СН 4.01.01-2019 (9.7.2):

1. Крупнозернистые фильтры применяют для предварительного осветления воды перед скорыми фильтрами второй ступени при двухступенчатом фильтровании, а также как самостоятельные сооружения для обезжелезивания подземных вод, проектируемых на основании результатов инженерных изысканий.

2. Для загрузки фильтров следует применять кварцевый песок, колотый гранитный щебень, керамзит и другие материалы.

3. Напорные крупнозернистые фильтры следует рассчитывать на предельные потери напора в фильтрующей загрузке и дренаже до 15 м, открытые – от 3 до 3,5 м. В открытых фильтрах следует предусматривать слой воды толщиной до 1,5 м над уровнем загрузки.

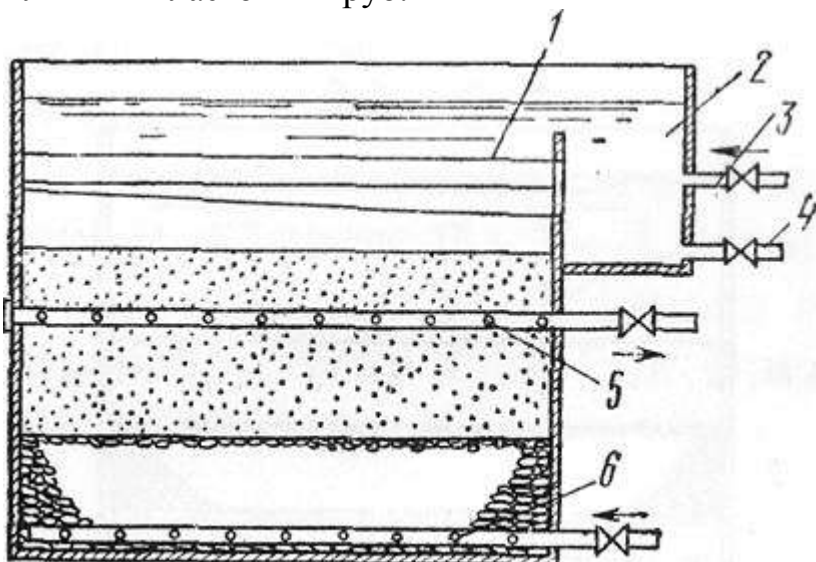
4. Промывку крупнозернистых фильтров необходимо предусматривать водовоздушную. Параметры промывки устанавливаются на основании результатов инженерных изысканий и уточняются при эксплуатации сооружений.

Если требуется расчёт крупнозернистых фильтров, то см. ТПК 45-4.01-31 (раздел 8.2).

10.11. Скорые двухпоточные фильтры АКХ (фильтры академии)

коммунального хозяйства)

В двухпоточных открытых фильтрах (рис. 10.11) основная масса фильтруемой воды проходит через фильтрующий материал снизу вверх по трубопроводу 6, а другая часть воды поступает сверху по трубопроводу 3, по карману 2 и желобу 1, фильтруется сверху вниз. Профильтрованная вода отводится трубчатым дренажем 5, устраиваемым из щелевых асбесто-цементных или винипластовых труб.



1– водораспределительный (сборный) желоб; 2–боковой карман; 3–трубопровод подачи $\frac{1}{2}$ расхода подаваемой на фильтр сверху воды; 4 – отвод грязной промывной воды ; 5–трубчатая дренажная система; 6– трубопровод подачи $\frac{1}{2}$ расхода подаваемой на фильтр снизу воды ;

Рис. 10.11 – Схема двухпоточного скорого открытого фильтра

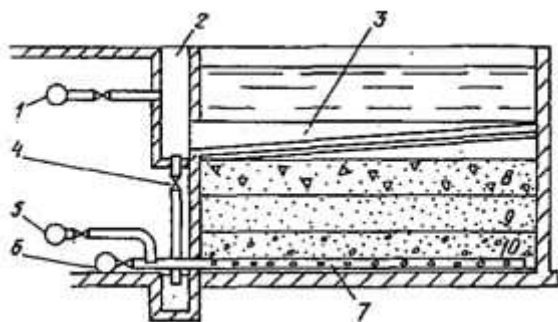
Дренажная система (поз. 5) располагается в толще фильтрующего слоя на расстоянии 500–600 мм от поверхности загрузки.

Промывная вода подается в дренажную систему 5 для взрыхления верхнего слоя песка (подповерхностная промывка). Интенсивность подачи воды 6–8 л/ (с • м²). Затем промывная вода подается в распределительную систему 6 для промывки всего слоя загрузки. Интенсивность подачи воды – от 10 до 15 л/ (с • м²). Загрязненная вода через желоб 1, карман 2 и трубу 4 сбрасывается в водосток. В это время осуществляются и верхняя и нижняя промывка одновременно. Это делается для того, чтобы предотвратить попадание в фильтрат загрязнений, вымываемых из нижних слоёв загрузки. После окончания основной нижней промывки задвижка на трубопроводе 6 закрывается. А по трубопроводу 5 продолжает подаваться вода на промывку.

10.12. Двухслойные фильтры

В двухслойных фильтрах, так же как и в фильтрах с восходящим потоком, используется принцип фильтрования в направлении убывающей крупности зерен загрузки, что достигается при движении воды сверху вниз через загрузку,

состоящую из слоев различных по плотности материалов (рис.10.12). Верхний слой устраивается из зёрен большего диаметра, чем нижний слой, но с меньшей плотностью. Верхние слои загрузки (на высоту 0,4– 0,5 м) состоят из более крупных зерен размером 1,2– 2,0 мм, а нижние (на высоту 0,6– 0,7 м) из зерен крупностью 0,7– 1,6 мм. В верхних слоях загрузки используют дробленый антрацит или керамзит, в нижних – кварцевый песок. Поддерживающий слой высотой 0,55– 0,8 м состоит из гравия крупностью 2,0– 40 мм.



1 – подача фильтруемой воды; 2– боковой карман; 3 – желоб для распределения фильтруемой воды (и для отвода промывочной воды); 4 – трубопровод отвода промывочной воды; 5 – трубопровод подачи промывочной воды; 6 – отвод фильтрованной воды; 7 – дренажная система; 8 – антрацит; 9 – песок; 10 – поддерживающий слой гравия

Рис 10.12 – Схема двухслойного фильтра

Благодаря двухслойной загрузке достигается более равномерное распределение загрязнений по высоте фильтра, снижается темп прироста потерь напора, увеличивается продолжительность работы фильтра. Расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме 7–8 м/ч; при форсированном режиме (промывка) 9–10 м/ч. Фильтроцикл (время между 2 промывками) в этих фильтрах равен 24 ч.

Промывка двухслойных фильтров производится потоком воды снизу вверх при 50%-ном расширении загрузки. Продолжительность промывки 10–12 мин, интенсивность 14–16 л/(с · м²). Эти фильтры применяются в технологии специальной водоподготовки и для очистки сточных вод. Перед водяной промывкой фильтра в восходящем потоке воды рекомендуется дополнительная поверхностная промывка для разрыхления накопившихся остаточных загрязнений на поверхности загрузки и образовавшегося слоя активного ила(при очистке сточных вод). Такая промывка осуществляется с помощью системы стационарных или подвижных дырчатых труб. Интенсивность поверхностной промывки 13 л/(сек · м²).

Недостатки фильтров этого типа:

- сложность создания двухслойной загрузки;
- дефицитность материала (дробленого антрацита);
- завышенный строительный объем фильтра (так, для предотвращения вакуума в толще загрузки и закупорки ее пузырьками воздуха высота столба воды над загрузкой принимается 2 м);

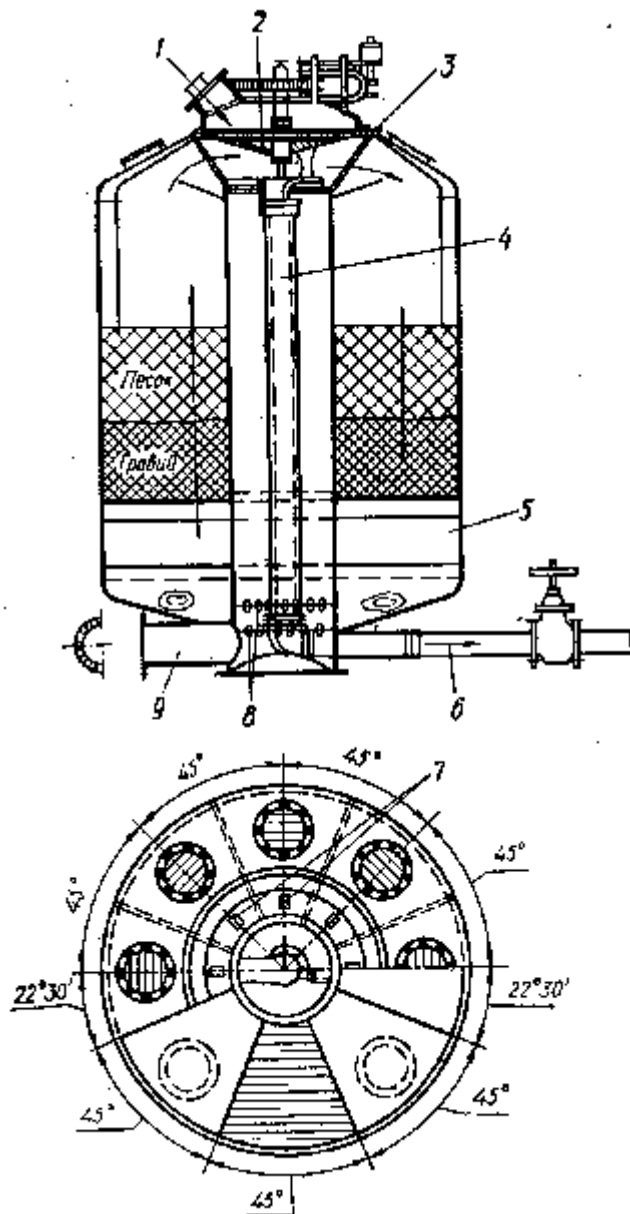
– возможность уноса зерен верхнего слоя загрузки, что затрудняет использование наиболее эффективной промывки с применением воздуха.

10.13. Сверхскоростные фильтры

Предложенные Г. Н. Никифоровым напорные сверхскоростные фильтры позволяют достигать скорости фильтрования от 25 до 50 м/ч (и даже до 75 м/ч).

Сверхскоростной напорный фильтр представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого размещен второй цилиндр меньшего диаметра (рис. 10.13). Кольцевое пространство, образуемое стенками обоих цилиндров, разделено перегородками на восемь отсеков-фильтров с песчано-гравийной загрузкой. Семь камер находятся в работе, а одна из восьми в это время поочередно подвергается автоматической промывке (поочередно). Минимальная продолжительность работы каждой камеры 1-2 часа; промывка – 10 мин.

Фильтруемая вода поступает по трубе 1 в распределительный колпак 2, а из него через щели 7 в отсеки-фильтры. Пройдя через фильтры, вода по щелям 8 и центральному цилиндру отводится по напорной трубе 9. Промывка фильтра автоматизирована. В верхней части его вращается патрубок, закрывающий верхнее щелевое окно камеры, которая подвергается промывке, и выключающий ее из работы. Вода на промывку подается из междудонного пространства 5. Загрязненная промывная вода через патрубок 3 и центральный стояк 4 отводится к трубе 6. Фильтры переключаются на промывку последовательно специальным автоматическим устройством. Загружают фильтр кварцевым песком с эффективным размером зерен 0,5 мм при толщине фильтрующего слоя 450 мм. Поддерживающим является слой гравия толщиной 300 мм. Производительность сверхскоростного фильтра при максимальном диаметре 3000 мм не превышает 150 м³/ч.



1 – трубопровод подачи исходной воды на фильтр; 2 – распределительный колпак; 3 – патрубок; 4 – центральный стояк; 5 – междудонное пространство, из которого подаётся вода на промывку; 6 – трубопровод отвода грязной промывной воды; 7 – щели, через которые подаётся вода в работающие отсеки-фильтры (на фильтрацию); 8 – щели, через которые отводится профильтрованная вода (в междудонное пространство); 9 – напорная труба для отвода профильтрованной воды

Рис. 10.13 – Схема сверхскоростного фильтра конструкции Г.Н. Никифорова

10.14. Медленные фильтры

Проектирование медленных фильтров осуществляется с учётом требований СН 4.01.01-2019 (раздел 9.7.4).

Медленные фильтры применяются для фильтрации некоагулированной воды, содержащей относительно мелкую взвесь. Крупность зерен и высоту

слоев загрузки медленных фильтров следует принимать по таблице 11.7 Пособия П1 (раздел 11.4):

Таблица 11.7

Материал загрузки	Крупность зерен, мм	Высота слоя, мм
Фильтрующий материал		
Песок	0,5–1	700–1200
Поддерживающие слои		
Песок	1–2	50
Гравий или щебень	2–5	50
То же	5–10	50
“	10–20	50
“	20–40	50

Высоту слоя воды над поверхностью загрузки медленных фильтров следует принимать от 0,6 до 1 м. Расчётную скорость фильтрования на медленных фильтрах принимают от 0,05 до 0,10 м/ч. Для периода регенерации одного из фильтров скорость фильтрования принимают от 0,1 до 0,25 м/ч. Количество фильтров принимают не менее трёх, в том числе один резервный. Ширина фильтра должна быть не более 6 м, длина – не более 60 м.

В фильтрах следует устанавливать дренаж из перфорированных труб, кирпича или бетонных плиток, уложенных с прозорами, пористого бетона и др.

По способу регенерации фильтрующей загрузки различают следующие конструкции медленных фильтров: с удалением загрязненного слоя и отмывкой его вне фильтра; с отмывкой загрязненного слоя в фильтре при механическом рыхлении и смыве загрязнений. В зависимости от количества взвешенных веществ в воде источника водоснабжения рекомендуют схемы сооружений станции безреагентной очистки:

- при количестве взвешенных веществ до 50 мг/л – медленные фильтры с удалением песка при регенерации;

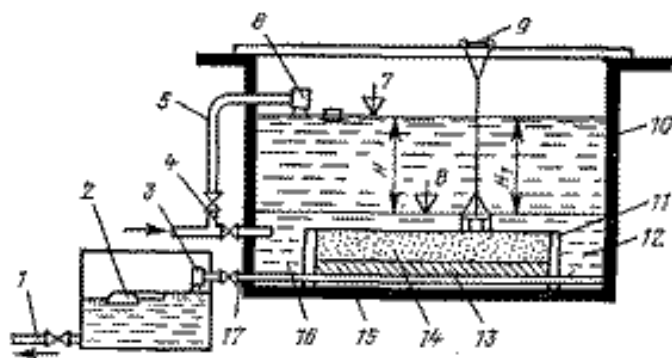
- до 700 мг/л – медленные фильтры с механическим рыхлением и гидросмывом загрязнений без удаления песка при регенерации;

- до 1000 мг/л – префильтры, медленные фильтры с механическим рыхлением и гидросмывом загрязнений без удаления песка при регенерации.

Работа медленных фильтров основана на принципе пленочного фильтрования. В начале фильтроцикла при медленном фильтровании воды на поверхности фильтрующего слоя образуется пленка из задержанных примесей воды, проницаемая для воды и непроницаемая для диспергированных загрязнений, содержащихся в воде. В образовавшейся пленке интенсивно развиваются различные микроорганизмы, которые уничтожают вносимые водой бактерии. Обработываемая вода фильтруется через пленку, при этом из воды извлекаются взвешенные и, частично, коллоидные частицы (до 99,9%).

Медленные фильтры представляют собой железобетонные или кирпичные резервуары прямоугольной или круглой в плане формы, открытые или закрытые,

заполненные фильтрующим материалом – кварцевым песком, уложенным на поддерживающие слои с соответствующей дренажной системой (рис.10.14).

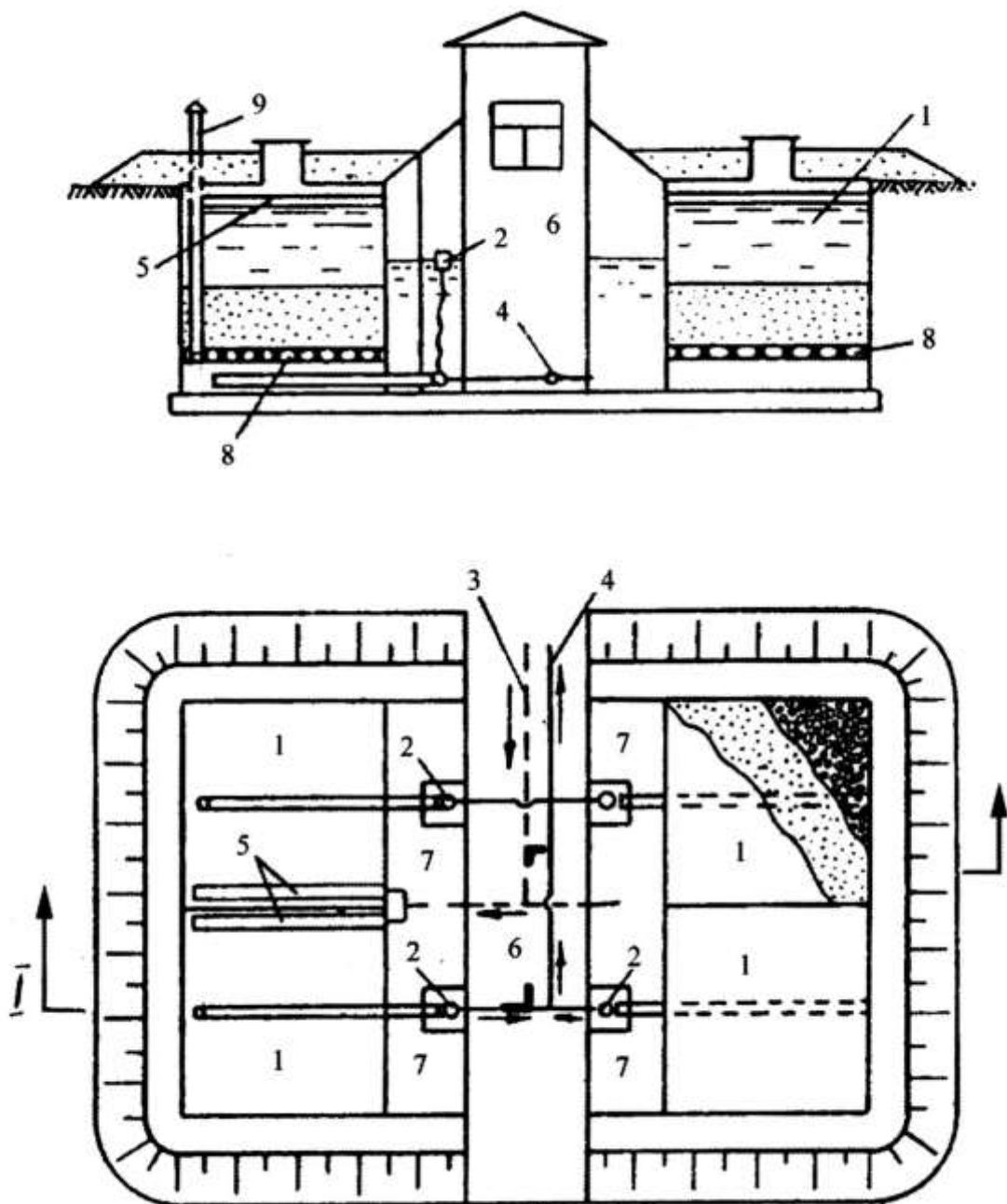


1, 17 – трубопроводы для отвода профильтрованной воды; 2 – регулятор скорости фильтрации; 3, 6 – поплавковые клапаны; 4 – трубопровод подачи промывной воды; 5 – трубопровод подачи исходной воды на фильтр; 7 – отметка уровня воды в фильтре; 8 – отметка уровня воды в фильтре при смыве загрязнений; 9 – каретка рыхлителя с монорельсом; 10 – корпус фильтра; 11 – водонепроницаемые стенки; 12, 16 – карманы; 13 – пористая бетонная плита (поддерживающий слой); 14 – песчаный фильтрующий слой; 15 – дренаж;

Рисунок 10.14 – Схема медленного фильтра

При нормальной работе фильтров (после образования фильтрующей пленки) достигается полное осветление воды, понижение цветности на 15–29 %, снижение количества бактерий на 95–99 %, в том числе и кишечной палочки, уменьшение окисляемости примерно на 20–40 %, устранение аммиака, азотной кислоты, кислорода. Метод медленного фильтрования обеспечивает высокую степень очистки воды, не требует применения реагентов и обслуживания высококвалифицированным персоналом. Стоимость очистки воды при методе медленного фильтрования в 3–5 раз меньше по сравнению с реагентным методом фильтрования на скорых фильтрах.

К числу недостатков медленных фильтров относится значительная строительная стоимость, непригодность для обработки высокоцветных вод, трудоёмкость очистки фильтрующей поверхности и большая площадь для их размещения. На рис. 10.15 показан план станции с медленными фильтрами, загруженными песком.



1 – фильтры; 2 – регуляторы скорости фильтрации; 3 – подача исходной воды; 4 – отвод фильтрата; 5 – желоба; 6 – камера управления; 7 – резервуар чистой воды; 8 – дренаж; 9 – вентиляционный стояк

Рис. 10.15 – План станции с медленными фильтрами, загруженными песком

10.15. Намывные фильтры

Намывные фильтры (разновидность напорных) применяются при очистке маломутных (мутность до 40 мг/л) и малоцветных (цветность до 30°) природных вод для промышленного водоснабжения (фармацевтической, пищевой, химической, нефтехимической промышленности, при фильтрации воды на АЭС и ТЭС) и коммунального водоснабжения. Метод основан на фильтровании через

слой специального порошка, предварительно нанесенного на фильтрующую основу. Внешний вид намывных фильтров показан на рис.10.16.

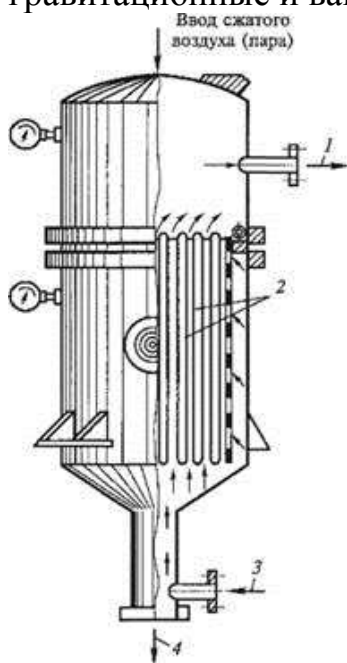


Рис. 10.16 – Внешний вид намывных фильтров

В качестве фильтрующих основ используют плоские и цилиндрические пористые керамические, сетчатые и каркасно-навитые элементы; в качестве фильтрующих порошков применяют диатомит, целлюлозу, асбест, бетонит, древесную муку, опилки и т.п.

Намывные фильтры снижают содержание органических веществ на 50%, дают хорошие результаты по удалению железа, масел, бактерий.

Намывные фильтры, как правило, работают по напорной схеме, реже как гравитационные и вакуумные.



Наружная поверхность пористых фильтрующих элементов служит основой, на которой откладывается слой фильтрующего порошка (рис. 10.17). Такой слой наносится на фильтрующий элемент перед началом работы фильтра. Для этого производится фильтрование суспензий фильтрующего порошка. Расход порошка составляет от 300 до 400 г/м³ фильтрующей поверхности. На эту операцию затрачивается от 3 до 5 мин. Равномерный слой порошка удерживается на поверхности фильтрующего элемента за счет разницы давлений в корпусе фильтра и внутри фильтрующего элемента.

Рис. 10.17 – Схема намывного фильтра

- 1 – трубопровод отвода профильтрованной воды;
- 2 – пористые фильтрующие элементы;
- 3 – трубопровод подачи исходной воды;
- 4 – сброс осадка

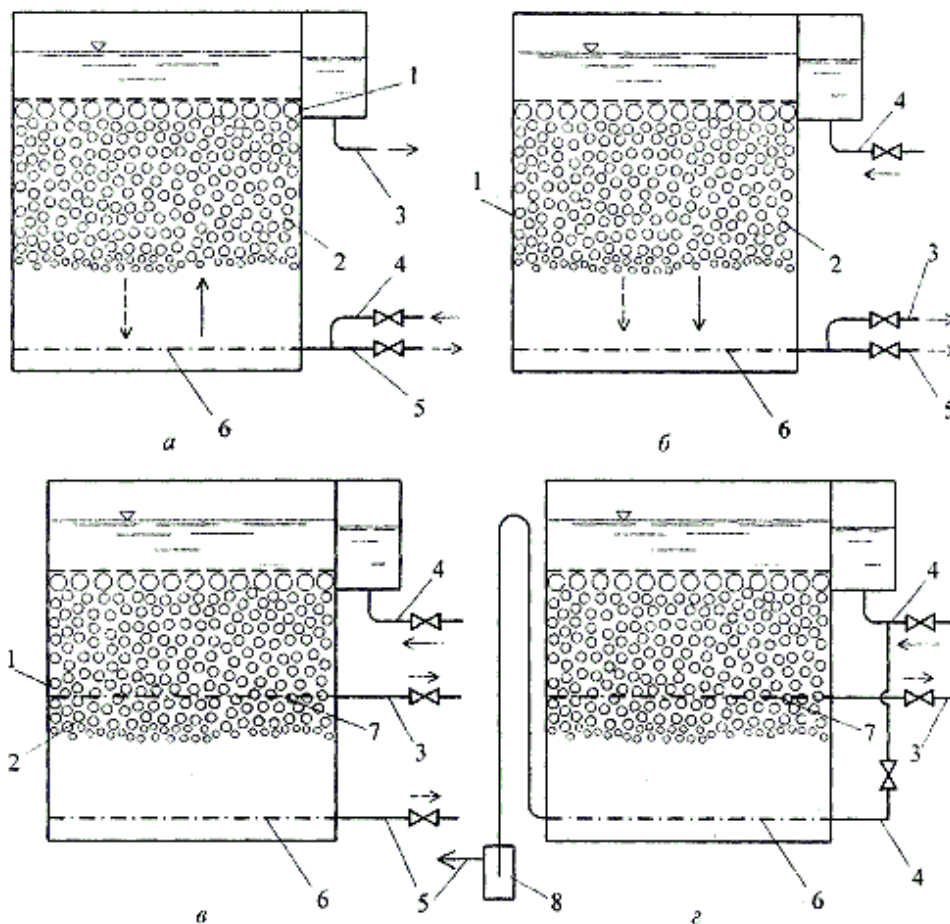
Известен и другой режим работы фильтра, при котором для предотвращения образования на поверхности фильтрата малопроницаемой пленки из отфильтрованных веществ в воду непрерывно или периодически (помимо первоначальной зарядки) вводят небольшие количества фильтрующего порошка порядка 3-10 мг/л. Это значительно удлиняет фильтроцикл.

Параметры работы фильтра следующие: скорость фильтрования принимается в пределах от 1,0 до 50 м/ч (по отношению к фильтрующей поверхности), продолжительность фильтроцикла 36-60 ч и более, потери напора – до 20 м, расход воды на промывку – 0,5-0,7% от расхода фильтруемой воды, продолжительность промывки 15 мин.

10.16. Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ)

Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) применяют для очистки природных, оборотных и сточных вод от гетерофазных примесей (рис.10.18).

Наличие в воде минеральных масел, нефтепродуктов и жиров с концентрацией более 30 мг/л препятствует нормальной работе ФПЗ. В то же время применение коагулянтов и флокулянтов повышает эффект очистки. ФПЗ применяют при строительстве новых фильтровальных станций и при реконструкции существующих сооружений (путем переоборудования кварцевых фильтров, осветлителей с взвешенным осадком, отстойников) при различной производительности водоочистой станции. В настоящее время разработано более 100 конструкций фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой (ФПЗ), отличающихся областью применения, технологическими возможностями, разнообразием конструктивных элементов, условиями размещения пенополистирольной загрузки в корпусе фильтра, в том числе в известных существующих водопроводных и канализационных сооружениях, способами промывки пенополистирольной загрузки. Наиболее экономичными и простыми в эксплуатации являются фильтры с восходящим фильтрационным потоком и относительно однородной пенополистирольной загрузкой (ФПЗ-1) с диаметром гранул рабочего слоя 0,7-1,5 мм и поддерживающих верхним слоем, состоящим из гранул диаметром 2,5-6,0 мм.



1 – корпус; 2 – фильтрующая загрузка; 3 – трубопровод отвода фильтрата; 4 – трубопровод подачи исходной воды; 5 – трубопровод отвода промывной воды; 6 – нижняя дренажная система; 7 – средняя дренажная система; 8 – система автоматики;

Рисунок 10.18 – Конструкции ФПЗ
а – ФПЗ-1; б – ФПЗ-3; в – ФПЗ-4; г – АФПЗ-М

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

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

Потери напора на ФПЗ следует принимать более 1,5 м при фильтровании сверху вниз и от 2,0 до 2,5 м при фильтровании по схеме снизу вверх.

Высота слоя воды над поверхностью загрузки во время фильтрования должна быть не менее 0,5 м, а к концу промывки – не менее 0,1 м. Требуемая высота слоя воды в надфильтровом пространстве, используемой для промывки, определяется расчетом.

Количество рабочих фильтров и блокирование секций надфильтрового пространства обосновывается технико-экономическим расчетом. Выключение одной секции ФПЗ на промывку допускает увеличение скорости фильтрования

на 20%. Температура очищаемой воды не должна превышать 50°C (во избежание размягчения полимера).

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

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

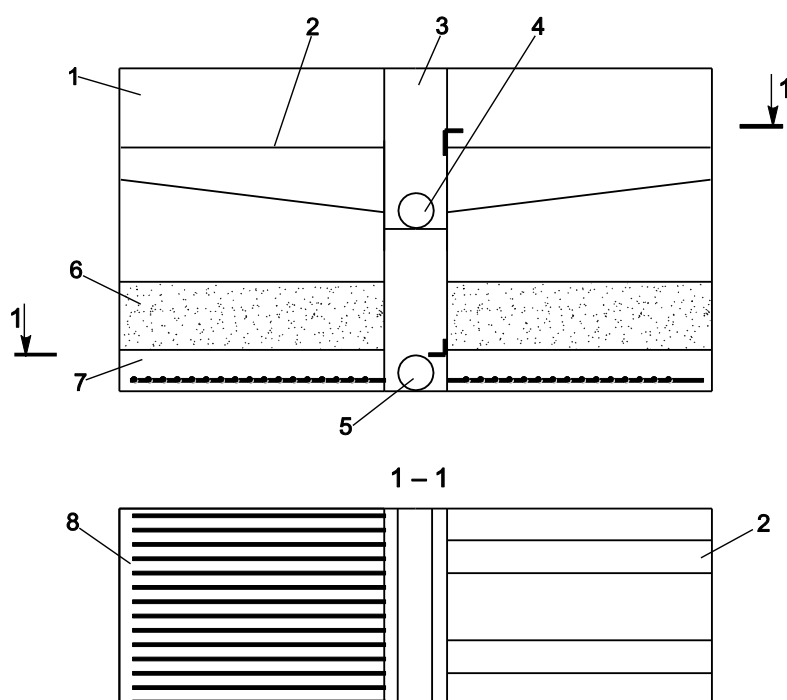
С целью уменьшения расчетной высоты фильтра в конструкциях ФПЗ-1, ФПЗ-2, ФПЗ-6 (фильтрование осуществляется снизу вверх) рекомендуется объединять надфильтровое пространство трех-шести фильтров с помощью бокового кармана или трубопровода в блок-фильтры. При этом предусматривается возможность отключения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

Тема 11. Осветление воды контактной коагуляцией

[#Теоретический раздел](#)

11.1. Теоретические основы контактной коагуляции

Работа контактных осветлителей и контактных фильтров основана на использовании явления контактной коагуляции. Принцип действия контактных осветлителей основан на том, что на поверхности зёрен загрузки при движении воды, обработанной коагулянтом, снизу вверх сорбируются коллоидные и взвешенные частички. Контактные осветлители являются своеобразной разновидностью скорых безнапорных фильтров, работающих по принципу пропускания обрабатываемой воды с добавлением коагулянта через слой зернистой загрузки снизу вверх. Обрабатываемая вода через распределительную систему подаётся в нижние гравийные слои и далее снизу вверх последовательно проходит через слои загрузки, крупность зёрен которых постепенно уменьшается. Таким образом, основная масса загрязнений задерживается в нижних крупнозернистых слоях, и, следовательно, темп прироста потерь напора уменьшается. Процесс коагуляции протекает непосредственно в фильтрующей загрузке. Схема контактного осветлителя приведена на рисунке 11.1.



1 – корпус осветлителя; 2 – желоба; 3 – центральный канал; 4 – трубопровод отвода фильтрата и отвода промывной воды; 5 – трубопровод подачи исходной и промывной воды; 6 – фильтрующий слой; 7 – поддерживающий слой; 8 – дырчатые трубы

Рисунок 11.1 – Схема контактного осветлителя

Контактные осветлители применяют на станциях любой производительности при одноступенчатых схемах очистки маломутных цветных вод, когда общее содержание взвешенных веществ в поступающей на контактные осветлители воде, включая взвесь, образующуюся в результате

введения в воду реагентов, не превышает 150 мг/л, и при максимальной цветности 150 град. При большом содержании взвешенных веществ в воде возрастает расход на промывку контактных осветлителей. Наиболее эффективно применение контактных осветлителей, если период максимальной цветности и мутности не превышает 30-50 суток в год, а среднегодовая загрязненность воды составляет от 20 до 30 мг/л по взвешенным веществам и от 80 до 100 град по цветности.

На станциях с контактными осветлителями, в которых для осветления воды используется принцип контактной коагуляции, следует предусматривать сетчатые барабанные фильтры и входную камеру, обеспечивающую требуемое давление воды, смешение и контакт воды с реагентами, а также удаление из воды воздуха.

В контактных фильтрах с двух- или многослойной, а также крупнозернистой загрузкой поток обрабатываемой воды, как в обычных скорых фильтрах, направлен сверху вниз.

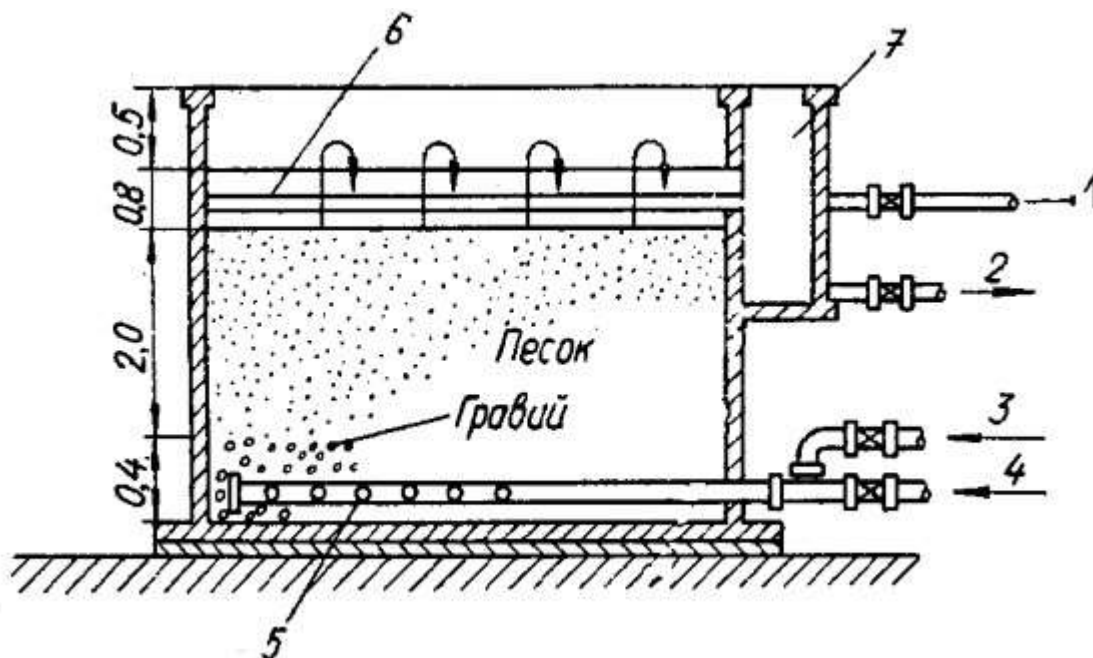
11.2. Конструкция и проектирование контактного осветлителя КО-1

Схема контактного осветлителя типа КО-1 приведена на рисунке 11.2. И фильтрование, и промывка КО-1 осуществляются в одном направлении: снизу вверх в направлении убывания крупности зерен в слое загрузки. При фильтровании исходной воды основная часть загрязнений задерживается в нижних крупнозернистых слоях. В КО-1 применяется фильтрующая песчаная загрузка плотностью не менее $2,5 \text{ г/см}^3$ с размером зерен от 0,7 до 2,0 мм, $d_{\text{экв}} = 0,9 - 1,4 \text{ мм}$; высота слоя загрузки от 2,0 до 2,3 м.

Контактные осветлители проектируют с поддерживающими слоями и без них.

Контактные осветлители КО-1 промываются водой с расширением загрузки.

Проектирование и расчёт контактных осветлителей выполняют по СН 4.01.01-2019 (раздел 9.7. 3) с учётом рекомендаций Пособия П1 (раздел 11.3). Предусматривают смесительные устройства для контакта воды с реагентами, возможность дополнительного ввода реагента после входной камеры.



- 1 – трубопровод отвода осветленной воды; 2 – трубопровод отвода промывной воды; 3 – трубопровод подачи воды с коагулянт; 4 – трубопровод подачи промывной воды; 5 – распределительная система из дырчатых труб; 6 – водосборные желоба; 7 – карман контактного осветлителя

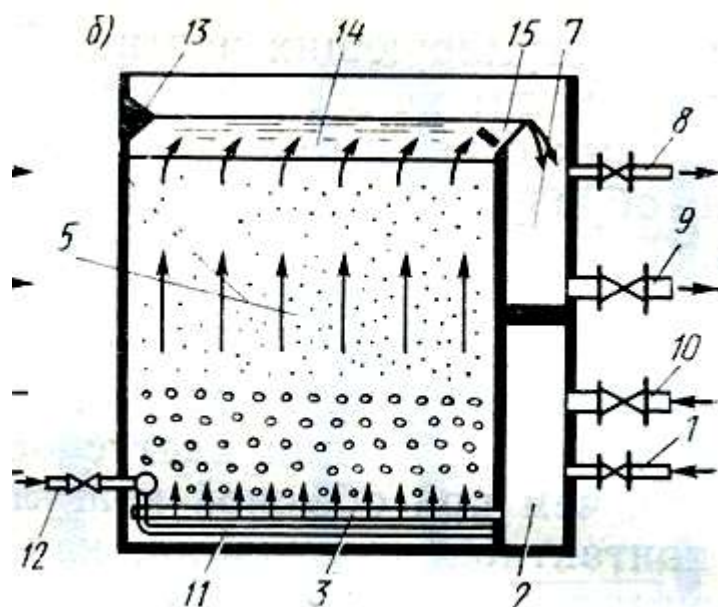
Рис. 11.2 – Схема контактного осветлителя КО-1

11.3. Конструкция и проектирование контактного осветлителя КО-3 с пескоулавливающим желобом

В контактных осветлителях КО-3 применяется безгравийная трубчатая распределительная система и водовоздушная промывка с горизонтальным отводом промывной воды.

Обрабатываемая вода после смешения с коагулянт через нижнюю водораспределительную систему 3 подается в КО-3 и фильтруется через слои загрузки, крупность зерен которых постепенно уменьшается (рис.11.3). При этом в условиях контактной коагуляции основная масса примесей воды задерживается в нижних крупнозернистых слоях, характеризующихся большой грязеемкостью. Благодаря этому КО-3 позволяют одноступенчато осветлять воду с исходной мутностью до 120 мг/л.

Отбор осветлённой воды производится без применения желобов. Нижняя кромка водосливной стенки устанавливается на 20–30 мм выше поверхности фильтрующей загрузки.



1 – трубопровод подачи исходной воды; 2, 7 – нижнее и верхнее отделения бокового кармана; 3 – нижняя дренажная водораспределительная система; 4 – слой гравия, 5 – слой песка; 8 – трубопровод отвода фильтрата; 9 – трубопровод отвода промывной воды; 10 – трубопровод подачи промывной воды; 11 – дренажная система для подачи воздуха; 12 – трубопровод подачи сжатого воздуха; 13 – струенаправляющий выступ; 14 – горизонтальный отвод промывной воды; 15 – водослив с пескоулавливающим желобом;

Рисунок 11.3 – Контактные осветлители КО-3 с пескоулавливающим желобом

Контактные осветлители КО-3 промываются водой и воздухом без расширения загрузки. Воздух подаётся через трубчатую распределительную систему с интенсивностью $18-20 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ в течение $1,0-2,0$ мин; водовоздушная промывка $6-7$ мин с интенсивностью подачи воды $3-3,5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ и интенсивностью подачи воздуха $18-20 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; последующая промывка водой $5-7$ мин с интенсивностью $6,0-7,0 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

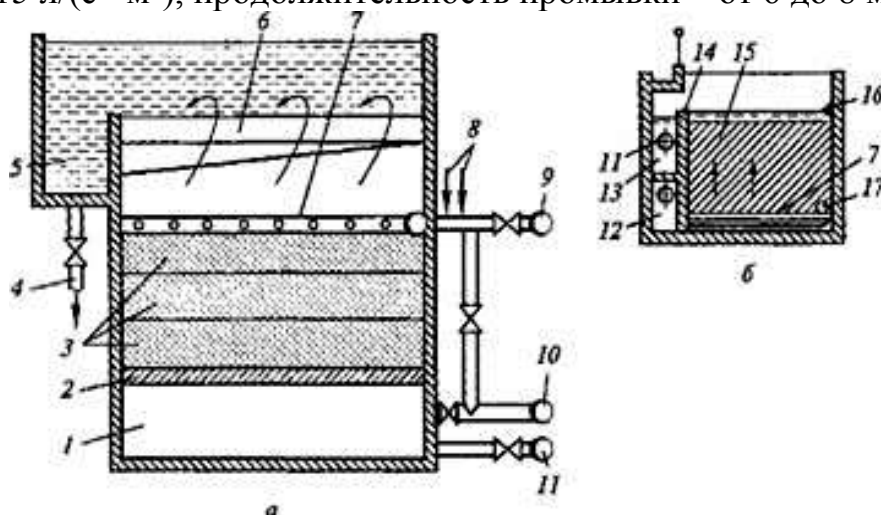
11.4. Конструкция и проектирование контактного фильтра КФ-5

Контактные фильтры рекомендуется применять для прямооточных одноступенчатых схем очистки воды при содержании взвешенных веществ от 50 до $60 \text{ мг}/\text{л}$.

В контактных фильтрах, работающих с использованием контактной коагуляции, вода с добавленными к ней реагентами (в отличие от контактных осветлителей) фильтруется через зернистые загрузки в направлении сверху вниз, т.е. как в обычных скорых фильтрах. Для увеличения грязеёмкости фильтрующей загрузки её делают двух- или многослойной, а также применяют крупнозернистый материал.

В контактном фильтре КФ-5 (рисунок 11.4а) фильтрующая загрузка состоит из трех слоев высотой каждого по $0,5 \text{ м}$ с крупностью зерен от $0,8$ до $1,25 \text{ мм}$. Комбинации фильтрующего материала: керамзит – аглопорит – кварцевый песок; керамзит – антрацит – кварцевый песок; аглопорит – доменный

шлак – кварцевый песок и др. Скорость фильтрования – до 20 м/ч, интенсивность промывки – 15 л/(с • м²), продолжительность промывки – от 6 до 8 мин.



1 – поддон; 2 – "ложное дно" из пористого бетона; 3 – три слоя фильтрующей загрузки; 4 – трубопровод отвода промывной воды; 5 – сборный карман; 6 – водосборные желоба; 7 – трубчатая водораспределительная система; 8 – ввод реагентов; 9 – трубопровод подачи исходной воды; 10 – трубопровод подачи промывной воды; 11 – трубопровод отвода фильтрата;

Рисунок 11.4 – Контактный фильтр КФ-5 (а)

В контактных фильтрах рекомендуется применять дренажи без поддерживающих слоёв с распределительной системой из керамических пористых плиток или винипластовых щелевых труб. Грязеёмкость их загрузки примерно такая же, как и у контактных осветлителей. При использовании контактных фильтров отпадает необходимость в строительстве сооружений или установке специального оборудования для защиты распределительных систем от загрязнения.

Тема 12. Обеззараживание поверхностных и подземных вод

#Теоретический раздел

12.1. Основные виды патогенной микрофлоры. Контроль процесса обеззараживания воды.

Полное удаление болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов при осветлении и обесцвечивании воды коагулированием с последующим отстаиванием и фильтрованием не обеспечивается даже при условии предварительного хлорирования воды. Поэтому профильтрованную воду, используемую для хозяйственно-питьевого водоснабжения, обязательно обеззараживают. Процесс обеззараживания воды контролируют, определяя общее число бактерий в 1 см³ воды (общее микробное число) и количество бактерий группы кишечной палочки в 1 л воды после её обеззараживания. Использование кишечной палочки в качестве контрольного микроорганизма при оценке эффективности процесса обеззараживания воды обусловлено:

- кишечная палочка всегда присутствует в кишечнике человека и теплокровных животных;
- её наличие свидетельствует о загрязнении воды фекальными сточными водами;
- она безвредна и является лишь индикатором, характеризующим бактериальную загрязнённость воды;
- хлор, озон и др. обеззараживающие реагенты убивают кишечную палочку труднее, чем другие патогенные микроорганизмы.

Безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, представленным в таблице 1 СанПиН 10-124:

Таблица 1

Наименование показателя	Единица измерения	Норматив
Термотолерантные колиформные бактерии ¹⁾	Число бактерий в 100 см ³	Отсутствие
Общие колиформные бактерии ^{1), 2)}	Число бактерий в 100 см ³	Отсутствие
Общее микробное число ²⁾	Число образующих колонии бактерий в 1 см ³	Не более 50
Колифаги ³⁾	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 см ³	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий ⁴⁾	Число спор в 20 см ³	Отсутствие
Цисты лямблий ³⁾	Число цист в 50 дм ³	Отсутствие

При обнаружении в повторно взятых пробах воды общих колиформных бактерий в количестве более 2 в 100см³ и (или) термотолерантных колиформных

бактерий, и (или) колифагов проводится исследование проб воды для определения патогенных бактерий кишечной группы и (или) энтеровирусов.

12.2. Классификация методов обеззараживания питьевой воды.

Выбор метода обеззараживания следует производить в зависимости от расхода воды, сезонных изменений ее качества, технологической схемы водоподготовки, технико-экономических, экологических и санитарных условий применения реагентов, размещения сооружений, с учётом требований СН 4.01.01-2019 (раздел 9.8).

Концентрации дезинфектантов и побочных продуктов обеззараживания в питьевой воде не должны превышать значения показателей в соответствии с требованиями СанПиН 10-124 РБ 99.

Для обеззараживания питьевой воды применяют методы: хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение, фильтрование через угольные сорбенты, фильтрование через мембраны, а также другие методы в соответствии с ТНПА.

При химических методах обеззараживания питьевой воды (хлорирование, озонирование) для достижения стойкого обеззараживающего эффекта необходимо правильно определить дозу вводимого реагента и обеспечить достаточную длительность его контакта с водой. Доза реагента определяется пробным обеззараживанием или расчетными методами.

При физических способах (ультрафиолетовое облучение, воздействие импульсными электрическими разрядами, гамма-лучами и др.) необходимо подвести к единице объема воды заданное количество энергии, определяемое как произведение интенсивности воздействия (мощности излучения) на время контакта.

12.3. Характеристика хлорсодержащих реагентов, применяемых для обеззараживания

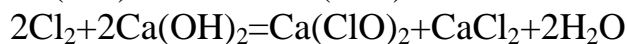
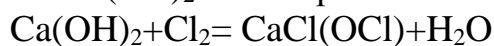
Хлорирование воды следует производить хлорсодержащими обеззараживающими реагентами: газообразный хлор Cl_2 , гипохлорит натрия NaClO , гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ и диоксид хлора ClO_2 . Проектирование сооружений по обеззараживанию воды газообразным хлором следует производить в соответствии с СН 4.01.01-2019 (раздел 9.8) и требованиями «Об утверждении Правил по обеспечению промышленной безопасности при использовании и хранении хлора» (Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 30 июня 2017 г. № 31).

Применяемые хлорсодержащие реагенты:

- 1) **Хлор** может находиться в 3-х состояниях:
 - при атмосфер. давлении – газ;
 - при повышенном давлении переходит в жидкое состояние, представляет собой маслянистую жидкость;
 - при понижении температуры хлор переходит в твердое состояние – кристаллы.

Растворимость хлора в воде зависит от температуры и давления. При атмосферном давлении и температуре 10°C в 1 л растворяется около 3 л газообразного хлора.

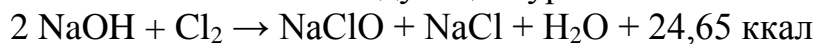
2) Хлорная известь $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ получается при взаимодействии на гашённую известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ газообразного хлора Cl_2 :



3) Гипохлорит натрия (натрий хлорноватистокислый) – NaOCl

Промышленные способы получения растворов гипохлорита натрия:

1. Хлорирование водного раствора гидроксида натрия молекулярным хлором Cl_2 описывается следующим уравнением:



2. Электролизом водных растворов хлорида натрия (в электролизёрах);

3. Реакции обмена с разложением соединений, содержащих гипохлорит кальция.

Гипохлорит натрия, получаемый хлорированием водного раствора гидроксида натрия, поставляется производителями в соответствии с ГОСТ 11086 в виде водного раствора с массовой концентрацией активного хлора не менее 190 г/дм³, с содержанием гидроксида натрия от 10 до 20 г/дм³ в пересчете на NaOH.

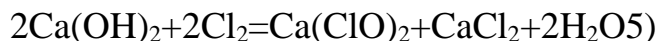
Проектирование сооружений по обеззараживанию воды гипохлоритом натрия следует производить в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.8.14-9.8.16).

4) Гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ – это соль кальция и хлорноватистой кислоты, порошкообразный продукт, может поставляться в гранулированном виде или в виде таблеток. Гипохлорит кальция по ГОСТ 25263 имеет массовую долю активного хлора от 25 % до 60 % и содержит около 2 % гидроксида кальция, от 10 % до 11 % хлорида натрия, а также карбонат и хлорид кальция.

Насыпная плотность гранулята составляет около 0,8 г/см³ и таблеток – 1,9 г/см³. Растворимость гипохлорита кальция в воде составляет 180 г/л при 25 °С.

Для обеззараживания воды следует использовать более устойчивый раствор гипохлорита кальция концентрацией 1%. Растворы гипохлорита кальция с концентрацией активного хлора до 7 % могут храниться ограниченный период времени, при этом содержание в них активного хлора постоянно уменьшается.

Гипохлорит кальция получают пропусканием хлора через суспензию гидроксида кальция:



Проектирование сооружений по обеззараживанию воды гипохлоритом кальция следует производить в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.8.17).

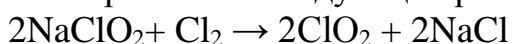
5) Диоксид хлора ClO_2 – является неустойчивым, ядовитым, взрывоопасным газом желто-оранжевого цвета с резким запахом, хорошо растворим в воде. При температурах ниже 10°C диоксид хлора представляет собой жидкость красно-коричневого цвета.

При обеззараживании воды диоксидом хлора не образуются тригалогенметаны, а также соединения хлора с аммонием и другими соединениями азота.

Концентрация диоксида хлора в воде после обеззараживания не должна превышать 0,2 мг/дм³ в соответствии с требованиями Гигиенического норматива 2.1.4 -12-17-2006 «Предельно допустимая концентрация диоксида хлора в питьевой воде».

Конечными продуктами реакции окисления диоксидом хлора являются хлориды, хлораты и хлориты. Остаточная концентрация хлорит-иона после обеззараживания не должна превышать 0,2 мг/дм³ и хлорат-иона – 20,0 мг/дм³ в соответствии СанПиН 10-124 РБ 99.

Диоксид хлора производится в форме водного раствора из хлорита натрия (NaClO₂) и хлора (Cl₂) или из хлорита натрия и кислоты (преимущественно HCl), при этом протекают следующие реакции:



Хлорит натрия поставляют, как правило, в емкостях по 220 л в виде раствора с концентрацией 24,5 %. Раствор диоксида хлора готовится на специальных установках с концентрацией от 6 до 20 г/дм³, который с учетом требований безопасности разбавляют до концентрации рабочего раствора от 0,5 до 5 г/дм³.

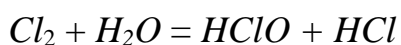
Предпочтительным является использование установок для производства диоксида хлора по методу «хлорит – соляная кислота», в которых исключается применение газообразного хлора, обращение с которым требует повышенных мер безопасности.

В процессах производства диоксида хлора концентрация получаемого раствора диоксида хлора не должна превышать 5 г/дм³.

12.4. Химизм хлорирования воды газообразным хлором.

Хлорпоглощаемость.

При введении хлора Cl₂ в воду образуются хлорноватистая HClO и соляная HCl кислоты:

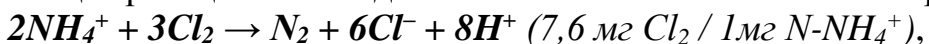


Хлорноватистая кислота подвергается диссоциации :

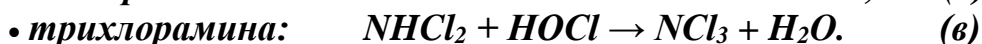
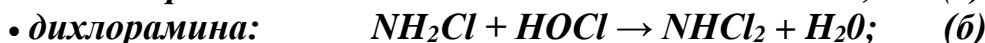


Получающиеся в результате диссоциации хлорноватистой кислоты гипохлорит-ионы ClO⁻ обладают наряду с недиссоциированными молекулами хлорноватистой кислоты HClO бактерицидным свойством (HClO наиболее сильный окислитель, чем ClO⁻). Наличие HClO и ClO⁻ рассматривается как наличие в воде свободного активного хлора. Если в воде присутствует природный аммиак NH₃ или азотсодержащие органические соединения (аминокислоты), то происходит образование хлораминов, у которых один атом водорода (H) или два атома водорода заменены на хлор (Cl): NH₂Cl ; NHCl₂.

Общая реакция взаимодействия аммонийного азота с хлором:



но эта реакция имеет сложный механизм, первые стадии которого приводят к образованию хлораминов:

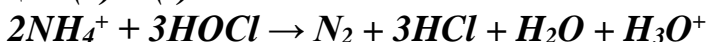


Комплекс органических и неорганических хлораминов, которые присутствуют в воде, называется **связанным хлором**. Высвобождение азота N_2 происходит при повышенном уровне хлорирования в ходе последующих реакций (гидролиз, нейтрализация, окисление) моно- и дихлорамина.

Монохлорамин NH_2Cl окисляется по реакции:



При этом следующая суммарная реакция является результатом сложения реакций (а) и (2):



В общем, принято считать, что **активный хлор** – это хлор в составе химического соединения, которое является сильным окислителем, например, хлорамины, гипохлориты и хлориты (связанный активный хлор). **Остаточный хлор** – содержание в воде активного хлора (в мг/л) по окончании процессов его связывания при хлорировании. **Связанный хлор** – это часть общего хлора, присутствующего в воде в виде органических и неорганических хлораминов.

Дозу активного хлора для обеззараживания принимают по СН 4.01.01-2019 (9.8.4):

– для поверхностных вод – от 2 до 3 мг/л;

– для подземных вод – от 0,7 до 1,5 мг/л.

Согласно требованиям СанПиН 10-124 РБ 99, концентрация остаточного хлора в воде перед поступлением ее в водопроводную сеть, должна находиться в пределах от 0,3 до 0,5 мг/л.

Доза хлора для обеззараживания воды подбирается с учётом:

- 1) хлорпоглощаемости воды;
- 2) наличия легкоокисляющихся органических и неорганических веществ;
- 3) наличия аминов и хлораминов;
- 4) pH;

Хлорпоглощаемость представлена в виде графика, на котором по оси х откладывается доза хлора, добавленная в воду, а по оси у – концентрация остаточного хлора (рисунок 12.1)

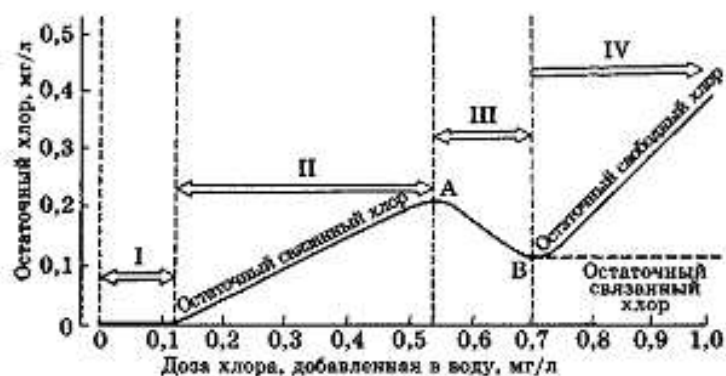


Рисунок 12.1– Взаимодействие хлора с компонентами обрабатываемой воды

В процессе обеззараживания хлор расходуется на окисление органических примесей, содержащихся в воде, поэтому для обеспечения надежного бактерицидного эффекта в обработанной воде поддерживают определенную концентрацию остаточного хлора. Зависимость между дозой введенного хлора и концентрацией остаточного активного хлора выражается кривой, показанной на рисунке 12.1. Малые дозы хлора полностью связываются органическими веществами, содержащимися в воде (участок I), в первую очередь аминами, которые постоянно присутствуют в воде поверхностных источников водоснабжения. С повышением дозы вводимого хлора в воде постепенно возрастает концентрация остаточного хлора, связанного в хлорамины (участок II). Хлорамины обладают более слабым бактерицидным действием, чем хлор, поэтому для обеспечения требуемого эффекта обеззараживания концентрация остаточного связанного хлора в воде должна быть 0,8–1,2 мг/л.

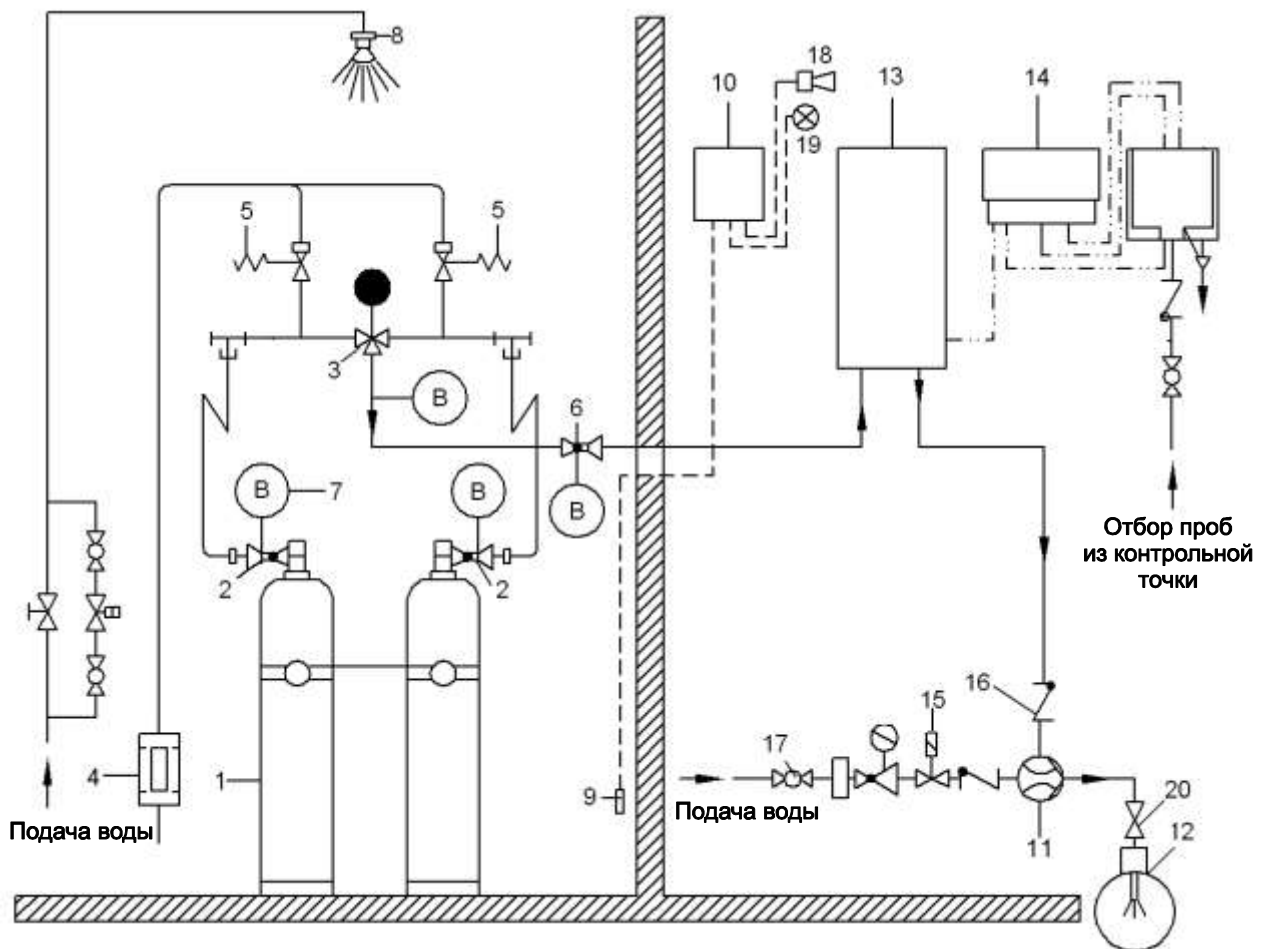
С начала протекания реакций окисления хлораминов, количество остаточного связанного хлора в воде уменьшается, несмотря на увеличение дозы введенного хлора (участок III). После окончания реакций окисления хлораминов в воде появляется остаточный свободный хлор, и его количество становится пропорциональным дозе введенного хлора (участок IV). Поэтому при хлорировании воды, содержащей аммонийные соединения, требуемая доза определяется по прямой за точкой B, которая называется точкой перелома. При увеличении дозы хлора после точки перелома вновь начинается рост остаточного хлора, но этот хлор не связан с хлораминами и носит название свободного остаточного хлора.

Тема 13. Обеззараживание воды хлорированием, озонированием и другими методами

[#Теоретический раздел](#)

13.1. Технологические схемы хлорирования питьевой воды

На рисунке 13.1 изображена полновакуумная установка по дозировке хлорного газа с автоматическим переключением баллонов с хлором, прибором для замера хлора с регулятором и со всеми системами безопасности (водорошающей установкой, устройством сигнализации утечки хлорного газа) в помещении для хранения хлора.



1 – баллон с хлором; 2 – регулирующий клапан; 3 – автоматический переключатель; 4 – адсорбционный фильтр; 5 – предохранительный клапан; 6 – предохранительный вакуумный вентиль; 7 – вакуумметр; 8 – датчик хлора; 9 – распылитель (форсунка); 10 – газоанализатор-сигнализатор; 11 – инжектор; 12 – ввод хлорной воды для обеззараживания; 13 – вакуумный дозатор газообразного хлора; 14 – контрольно-измерительные модули; 15 – электромагнитный клапан; 16 – обратный клапан; 17 – вентиль; 18 – звуковой сигнализатор; 19 – сигнальная лампочка; 20 – задвижка

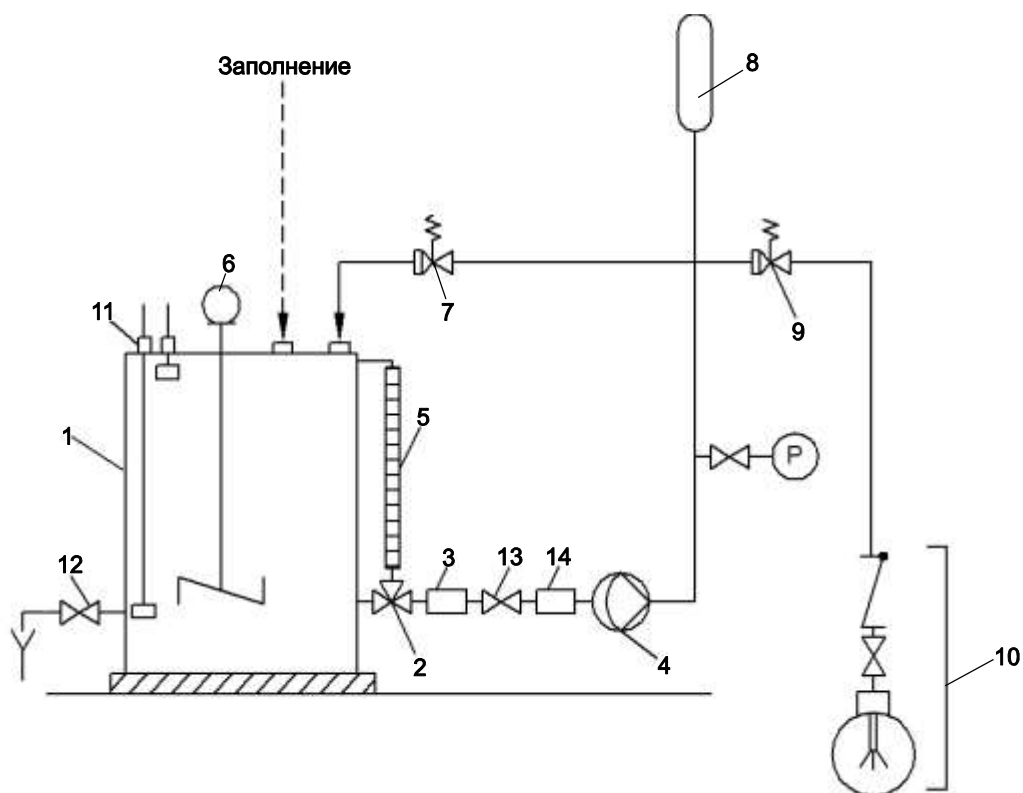
Рисунок 13.1 – Схема полновакуумной установки для дозировки хлорного газа

Дозировка раствора гипохлорита натрия должна осуществляться из емкостей с помощью дозирующих насосов. Схема установки приведена на рисунке 13.2.

Установки для электролиза хлора должны применяться там, где по требованиям безопасности запрещается транспортировка, хранение и дозировка хлорного газа.

Полученный на месте электролизом раствор должен использоваться без долгого промежуточного хранения и, соответственно, без потерь хлора.

Производство раствора гипохлорита натрия (NaOCl) электролизом осуществляется при соблюдении определенных условий при подаче постоянного напряжения. Производство раствора гипохлорита натрия на месте осуществляют на установках для электролиза с мембранами и без них. В отличие от установок без мембраны, имеющих расположенные в одной трубе аноды и катоды (трубчатые установки для электролиза), в установках электролиза с мембраной анод отделен от катода мембраной.



1 – емкость; 2, 13 – запорно-регулирующая арматура; 3 – фильтр; 4 – насос-дозатор; 5 – контрольно-измерительная труба; 6 – мешалка; 7 – предохранительный клапан избыточного давления; 8 – пульсационный амортизатор; 9 – редукционный клапан; 10 – ввод гипохлорита; 11 – уровнемер; 12 – сливной кран; 14 – устройство дегазации (деаэрации)

Рисунок 13.2 – Схема дозирующей установки для раствора гипохлорита натрия

13.2. Обеззараживание воды озонированием. Область применения.

Согласно п. 12.2.1 Пособия П1, обеззараживание озонированием следует применять при необходимости комплексной обработки воды с целью обесцвечивания, удаления железа, марганца, привкусов и запахов, окисления сульфатов, нитритов, сероводорода и других примесей, которые окисляются озоном.

Озонирование может применяться как предварительная обработка окислением в процессах водоподготовки с целью:

- частичного уничтожения и обезвреживания микроорганизмов;
- удаления вкуса, запаха и цветности воды;
- удаления или окисления тригалометанов, изначально присутствующих в исходной воде;
- интенсификации процессов коагуляции.

Предварительное озонирование следует производить в течение от 1 до 2 мин, дозами, определяемыми на основе предварительных инженерных изысканий.

Озон (O_3) в нормальных условиях (0,1 МПа, 0°C) представляет собой бесцветный, резко пахнущий ядовитый газ. С увеличением концентрации газообразный озон приобретает голубоватую окраску. Плотность озона при нормальных условиях – 2,1445 г/дм³, относительная плотность газа по кислороду – 1,5; по воздуху – 1,62. Растворимость озона в воде при 0 °С – 0,394 кг/м³.

Эффективность озонирования зависит от дозы, продолжительности контакта, содержания органических веществ в воде и значения рН. При высоких значениях рН озон распадается более интенсивно со снижением обеззараживающего воздействия.

Дозу озона следует принимать в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.8.26): для поверхностных вод от 1,0 до 3,0 мг/дм³, для подземных от 0,75 до 1,0 мг/дм³. Максимальную концентрацию озона в воде в процессе водоподготовки следует принимать не более 10 мг/дм³.

13.3. Основы процесса озонирования. Установки для озонирования питьевой воды.

Озон оказывает бактерицидное действие на патогенную микрофлору и способен разрушать многие присутствующие в воде источника водоснабжения химические вещества техногенного происхождения. Преимущество озона в том, что он способствует протеканию реакций, которые заставляют молекулы загрязнений собираться в конгломераты, достаточно крупные для того, чтобы их можно было удалить методом флокуляции или сорбировать на фильтре. Озон реагирует с хлор- и нитроорганическими соединениями с образованием хлоридов и нитратов, и как следствие этого, выводит из воды аммиак. Озон на водопроводных станциях получают с помощью специальных установок (Рис. 13.3).

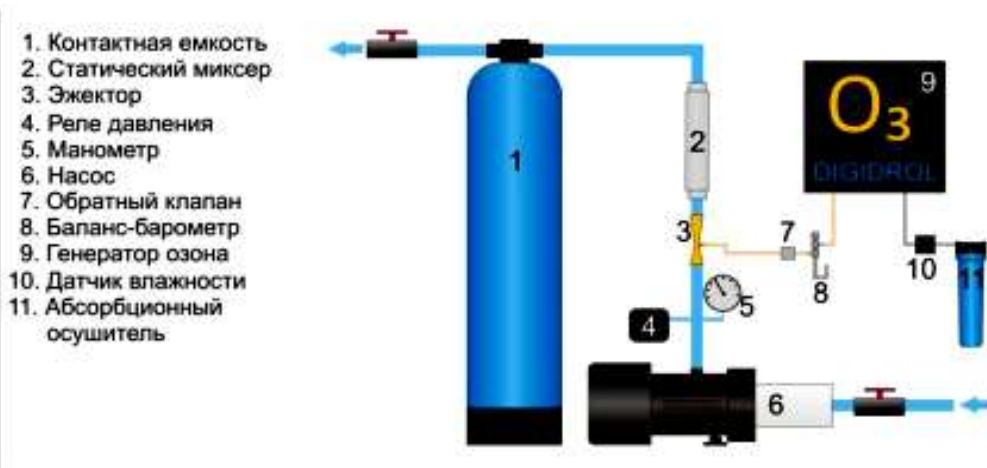


Рисунок 13.3 – Установка для озонирования питьевой воды

Главным технологическим узлом установки является озонатор (генератор озона). Озонатор состоит из двух электродов, между которыми находится воздушное разрядное пространство шириной 2–3 мм. Воздух, поступающий в озонаторы, предварительно очищают от пыли, освобождают от влаги и охлаждают. Подготовленная озono-воздушная смесь поступает в эжектор, где осуществляется ее контакт с обрабатываемой водой. Время контакта, необходимое для проявления бактерицидного эффекта, от 10 до 12 мин. Молекула озона легко разлагается на атом и молекулу кислорода. При разложении озона в воде в качестве промежуточных продуктов образуются короткоживущие свободные радикалы HO_2 , OH . Молекулярный кислород и свободные радикалы, являясь сильными окислителями, обуславливают бактерицидные свойства озона. Обеззараживающее действие озона на вегетативные формы бактерий в 15-20 раз, а на споровые формы в 300-600 раз более выражено, чем действие хлора. Высокий вирулицидный эффект озона (воздействие на вирусы) проявляется при концентрациях 0,5- 0,8 мг/л и времени контакта 12 мин. Известна высокая эффективность озона относительно цист простейших. Наряду с бактерицидным действием озона в процессе обработки воды происходят обесцвечивание и устранение привкусов и запахов, а также разрушение высокомолекулярных органических соединений.

Механизм бактерицидного действия озона заключается в необратимом нарушении структуры ДНК клетки атомарным кислородом, а также в инактивации бактериальных ферментов. При обработке воды озонem в ней образуются продукты озонолиза органических веществ в виде альдегидов, кетонов, низкомолекулярных карбоновых кислот; среди них наиболее актуален формальдегид. Опасность продуктов озонолиза возрастает при комбинации озонирования с последующим хлорированием. В этом случае в воде образуются хлорированные продукты озонолиза с мутагенными и канцерогенными свойствами.

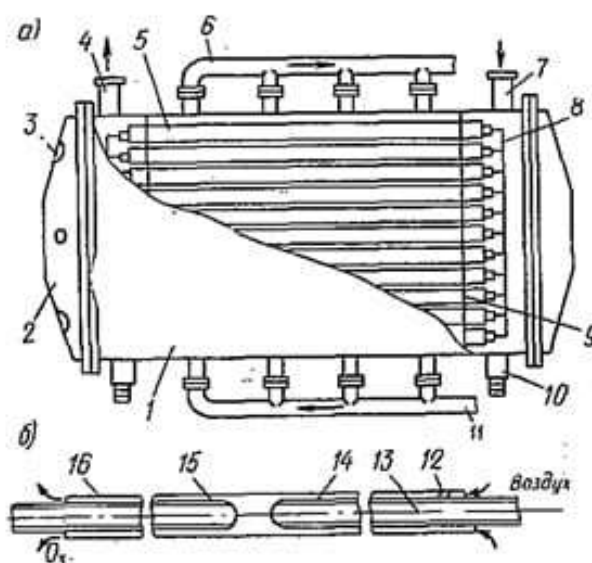
Озон производится в озонаторах из очищенного от пыли, осушенного атмосферного воздуха или из кислорода под воздействием высоковольтного электрического разряда. Озонирующая установка включает генератор озона

(озонатор), смеситель озона и обрабатываемой воды, камеры реакции и установки для удаления остатков озона.

Выбор типа озонатора следует производить в зависимости от требуемой производительности, требований к энергоснабжению, расходу воды и воздуха (кислорода), которые декларируются производителем. Требуемое охлаждение осуществляется с помощью воздуха или воды.

Технические характеристики озонаторов декларируются производителями. Для предварительных расчетов удельное энергопотребление озонаторов допускается принимать от 13 до 20 кВтч/кг при получении озона из воздуха, и от 7 до 13 кВтч/кг – при получении озона из кислорода. Концентрацию озона в озono-воздушной смеси принимают от 20 до 40 г/м³, в озono-кислородной смеси – от 70 до 180 г/м³.

На рис. 13.4 показана схема озонатора трубчатого типа и схема трубчатого разрядного элемента



- 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – смотровые окна; 4 – выход озono-воздушной смеси; 5 – трубчатый элемент; 6 – отвод охлаждающей воды; 7 – подвод осушенного воздуха; 8 – электрические контакты; 9 – разделительная стенка корпуса; 10 – подвод электроэнергии; 11 – подвод охлаждающей воды; 12 – центрирующее устройство; 13 – электрический контакт; 14 – высоковольтный электрод – металлизированный слой на внутренней стенке стеклянной трубки; 15 – диэлектрик – стеклянная трубка; 16 – низковольтный электрод – металлическая трубка

Рис. 13.4 – Схема озонатора трубчатого типа

а – схема озонатора трубчатого типа; б – схема трубчатого разрядного элемента;

13.4. Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением

Проектирование сооружений по обеззараживанию воды ультрафиолетовым излучением (УФ-излучение) следует производить в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (раздел 9.8).

Обеззараживание воды УФ-излучением следует производить после ее предварительной очистки.

Степень инактивации микроорганизмов под действием УФ-излучения пропорциональна дозе облучения $D_{уф}$, (мДж/см²), которая является

произведением интенсивности излучения (мВт/см^2) и времени облучения (с). Минимальная доза УФ-излучения должна обеспечивать безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении по показателям, установленным СанПиН 10-124 РБ 99.

Производительность установок УФ-излучения и требования к составу обеззараживаемой воды декларируются производителем. Для обеззараживания воды следует предусматривать ультрафиолетовые излучатели на основе ртутных газоразрядных ламп низкого и среднего давления, основные параметры которых приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1– Показатели ультрафиолетовых излучателей низкого и среднего давления

Показатели	Излучатели низкого давления	Излучатели среднего давления
Давление паров ртути, МПа	0,0001	0,1 – 1,0
Температура поверхности, °С	40 – 120	600 – 950
Излучение в УФ- диапазоне Длина волны, нм	монохромные 254	диапазон 200 – 400
Потребление энергии, Вт	10 – 600	1000 – 30000
Удельное энергопотребление на единицу длины излучателя, Вт/см	1–4	100–200
Мощность УФ излучения в диапазоне С (254 нм)относительно энергопотребления новых излучателей, %.	25– 35	8 – 15
Снижение мощности в течение срока службы, %	30 – 40	25 – 40
Средний срок службы, ч	8000–16000	4000 – 12000

Проектирование установок с УФ-излучением требуется производить с учетом состава обрабатываемой воды и показателей системы водоснабжения таким образом, чтобы при максимальном расходе воды обеспечивалась необходимая доза УФ-излучения, измеряемая с использованием калиброванных УФ-датчиков.

13.5. Обеззараживание воды ультразвуковыми колебаниями

Обработка воды ультразвуком основывается на его способности вызывать образование микроскопических пузырьков, которые быстро разрушаются (лопаются). Это явление называется кавитацией. Газ, находящийся внутри таких пустот, имеет настолько высокое давление и температуру, что в момент их разрушения происходит свечение пузырьков (звукolumинесценция). В результате создания большого перепада давления, достигающего до десятков тысяч атмосфер, происходит повреждение клеточной оболочки и, как следствие, гибель вредоносного микроорганизма. В зависимости от интенсивности звуковых колебаний происходит бактерицидное воздействие ультразвука в той или иной

степени. Ни один вирус или микроорганизм не способен выдержать подобные воздействия, таким образом, происходит их механическое разрушение.

Несмотря на перспективность использования ультразвуковых установок, их применение обосновано лишь в сочетании с другими методами (например, применение угольных фильтров), т.к. с помощью ультразвуковых волн невозможно очистить жидкость от других загрязнений.

Тема 14. Дезодорация воды (удаление из воды органических веществ, привкусов и запахов)

#Теоретический раздел

14.1. Классификация методов дезодорации

По ТНПА (СанПиН 10–124 РБ 99 и Гигиенический норматив «Показатели безопасности питьевой воды» № 37 от 25.01.2021), запах и привкус питьевой воды нормируются органолептическими показателями. Характер запаха воды предлагается определять «ощущением воспринимаемого запаха».

Вкус и запах питьевой воды обусловлены наличием в воде органических веществ растительного происхождения, придающих воде землистый, травянистый, болотистый запах и привкус. Повышенная окисляемость и цветность поверхностного источника водоснабжения свидетельствуют о наличии примесей природных органических веществ – гуминовых и фульвокислот, являющихся продуктами разложения органических и неорганических веществ. Высокое содержание органических веществ в поверхностных водах фиксируется в период гниения водорослей (июль–сентябрь). Одной из характеристик концентрации органических загрязнений является перманганатная окисляемость.

Классификация методов удаления из воды органических веществ, привкусов и запахов:

- углевание порошковым активированным углем (сухое дозирование);
- углевание угольной пульпой (мокрое дозирование в виде суспензии);
- фильтрование через угольные фильтры (через слой активированного угля);
- фильтрование в стационарных адсорберах с гранулированным активированным углём;
- фильтрование через комбинированные песчано-угольные фильтры;
- удаление органических веществ окислением и сорбцией активированным углём в виде порошка;
- удаление органических веществ окислением с последующим фильтрованием через сорбционные фильтры;
- озонирование;
- применение пероксида водорода.

14.2. Удаление органических веществ окислением и сорбцией активным углём в виде порошка

Согласно п.13.1 Пособия П1, при необходимости специальной обработки воды для удаления органических веществ, а также снижения интенсивности привкусов и запахов следует применять окисление и последующую сорбцию веществ, осуществляемую путем фильтрования воды через гранулированные активные угли с периодической их регенерацией или заменой или дозированием порошкообразного активного угля с его последующим задержанием при фильтровании.

В случае кратковременного использования активных углей допускается применять их в виде порошка, вводимого в воду перед ее коагуляционной обработкой или перед фильтрами.

Порошкообразный активный уголь следует вводить в воду до введения коагулянта, с интервалом времени не менее 10 мин. Дозу угля перед фильтрами следует принимать до 5 мг/дм³ и уточнять при эксплуатации.

Для дозирования угольной пульпы следует предусматривать замачивание угля в течение 1 ч в баках с гидравлическим или механическим перемешиванием. Насосы для перекачивания угольной пульпы должны быть стойкими к абразивному воздействию угля. Подача циркуляционных насосов должна обеспечивать четырех-пятикратный обмен замачиваемого реагента в течение времени замачивания. Концентрацию угольной пульпы следует принимать до 8%.

Трубопроводы для подачи угольной пульпы следует рассчитывать при скорости движения пульпы не менее 1,5 м/с, на трубопроводах должны быть предусмотрены ревизии для прочистки, плавные повороты и уклоны.

Конструкция дозаторов должна обеспечивать гидравлическое перемешивание пульпы при постоянном уровне ее в дозаторе.

Негативные стороны при применении угольной пульпы связаны со сложностями, возникающими при её последующем отделении. Из-за низкой скорости осаждения в отстойниках порошкового активированного угля, требуется дополнительно увеличивать дозу коагулянта при подаче в смесители, так как в обрабатываемой воде увеличивается содержание взвешенных веществ за счёт добавления угольной пульпы. При дальнейшем фильтровании воды на скорых фильтрах происходит кольматация однослойной загрузки фильтров, уменьшается скорость фильтрования. Угольная пыль откладывается на стенках РЧВ и на внутренних поверхностях трубопроводов.

При наличии в воде легко окисляемых органических веществ в небольших концентрациях допускается, по согласованию с органами государственного санитарного надзора, применять одно окисление без сорбционной очистки при условии, что в результате окисления не образуются неблагоприятные в органическом отношении и вредные в токсикологическом отношении продукты.

Вид окислителя, его дозу, место и последовательность ввода реагентов следует устанавливать на основании данных инженерных изысканий. При обосновании, могут использоваться другие реагенты окислители, например пероксид водорода, максимально допустимую концентрацию которого следует принимать до 17 мг/дм³, остаточную – не более 0,1 мг/дм³. Дозы окислителей допускается принимать по таблице (п.13.3 Пособия П1-2019):

Таблица 14.1

Перманганатная окисляемость воды, мг/дм ³	Доза окислителя, мг/дм ³		
	перманганата калия	озона	хлора

8–10	2–4	1–3	4–6
10–15	4–6	3–5	6–8
15–25	6–10	5–8	8–10

Для предварительных расчетов основные места ввода окислителей и последовательность введения реагентов следует принимать по таблице (п.13.4 Пособия П1-2019):

Таблица 14.2

Место ввода окислителей	Последовательность введения реагентов в воду
1. Хлор перед сорбционной очисткой	Хлорирование не менее чем за 2 мин до фильтрования через гранулированный активированный уголь или введения порошкообразного активированного угля
2. Озон непосредственно перед сорбционной очисткой	Озонирование с последующим фильтрованием через гранулированный активированный уголь или обработкой порошкообразным активированным углем
3. Озон перед коагулированием	Первичное озонирование, через 2–3 мин – коагулирование
4. Перманганат калия перед коагулированием	Введение перманганата калия, через 2–3 мин – коагулирование
5. Озон перед осветлительными фильтрами или в очищенную воду	
<i>Примечание</i> – Должна быть предусмотрена возможность изменения места ввода реагентов при эксплуатации сооружений.	

14.3. Удаление органических веществ окислением с последующим фильтрованием через сорбционные фильтры

При наличии в питьевой воде, согласно требованиям СанПиН 10–124 РБ 99, запаха и привкуса 2 балла и выше, рекомендуется применять метод фильтрования воды, поступающей в водопроводную сеть города с ВОС, через активированные гранулированные угли (АГ–З, АГ–М, СКТ).

В данном случае окислитель тоже вводят в обрабатываемую воду до её поступления на угольную загрузку. Доза окислителя и место ввода принимается по таблице 14.2.

Согласно пунктам 13.7 – 13.11 Пособия П1, для снижения привкусов и запахов гранулированный активный уголь следует применять в качестве загрузки сорбционных фильтров, размещаемых после осветлительных фильтров или других сооружений, обеспечивающих очистку воды от взвешенных веществ до 1,5 мг/дм³.

При обосновании, допускается применять совмещенные осветлительно-сорбционные фильтры.

Высота угольной загрузки H , м, определяется по формуле:

$$H_{y.z} = \frac{v_{p.\phi} t_y}{60}$$

где t_y – продолжительность фильтрования воды через слой угля, следует принимать в пределах от 10 до 15 мин, в зависимости от сорбционных свойств угля, концентрации и вида загрязняющих веществ в воде и других факторов;

$v_{p.\phi}$ – скорость фильтрования, м/ч, принимаемая в пределах от 10 до 20 м/ч.

Продолжительность фильтрования следует уточнять при проведении инженерных изысканий.

Интенсивность промывки водой сорбционной загрузки фильтра, ее продолжительность, относительное расширение зависят от типа угля и принимаются на основании результатов технологических исследований.

Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до кромок желобов $H_{ж}$, м, следует определять в зависимости от относительного расширения сорбционной загрузки по формуле:

$$H_{ж} = \frac{H_3 a_{\phi}}{100} + 0,3$$

где H_3 – высота фильтрующего слоя, м;

a_{ϕ} – относительное расширение фильтрующей загрузки, %.

15.1. Формы содержания железа в подземных и поверхностных источниках водоснабжения

В подземных водах железо содержится в виде Fe^{2+} , которое устойчиво в водных растворах при отсутствии окислителей.

В поверхностных водах железо обычно содержится в виде органических и минеральных комплексных соединений либо коллоидных или тонкодисперсных взвесей. Преобладающей формой существования железа в подземных водах является бикарбонат железа (II). Наряду с этим железо встречается в виде сульфида, карбоната и сульфата железа (II), комплексных соединений с гуматами и фульвокислотами.

Обезжелезивание поверхностных вод осуществляется реагентными методами, а подземных вод – безреагентными.

На рис 15.1. представлена диаграмма Пурбе, отражающая состояние системы железо – вода в координатах: окислительно-восстановительный потенциал и значение pH.

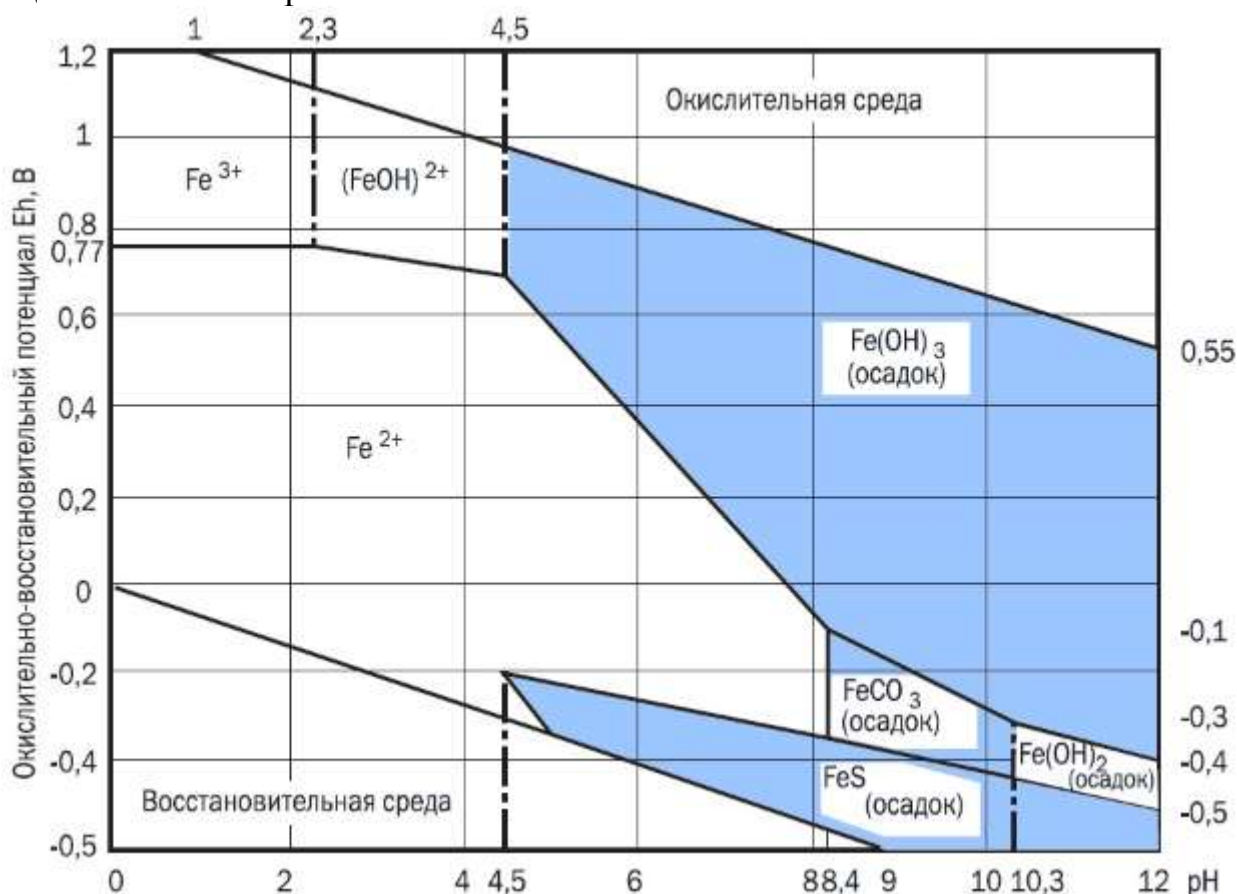


Рис. 15.1 – Диаграмма Пурбе

Как следует из диаграммы, при значениях pH < 4,5 железо находится в воде в виде ионов Fe^{3+} ; Fe^{2+} и $(FeOH)^{2+}$. Повышение значения pH приводит к окислению железа (II) в железо (III), которое выпадает в осадок. В этих же

условиях при $E < 0,2$ В и наличии в воде сульфидов может выделяться черный осадок FeS. В восстановительной среде в присутствии карбонатов и при $pH > 8,4$ возможно выделение карбоната, а при $pH > 10,3$ – гидроксида железа (II).

Для того чтобы удалить железо из воды, находящееся в катионной форме, нужно или изменить pH среды, или изменить окислительно-восстановительный потенциал. Так как речь идёт о воде питьевого назначения, то идут по пути изменения окислительно-восстановительного потенциала, не меняя pH среды. Для этого в обрабатываемую воду вводят реагенты-окислители.

15.2. Обезжелезивание методом упрощенной аэрации с последующим фильтрованием через зернистую загрузку осветлительных фильтров

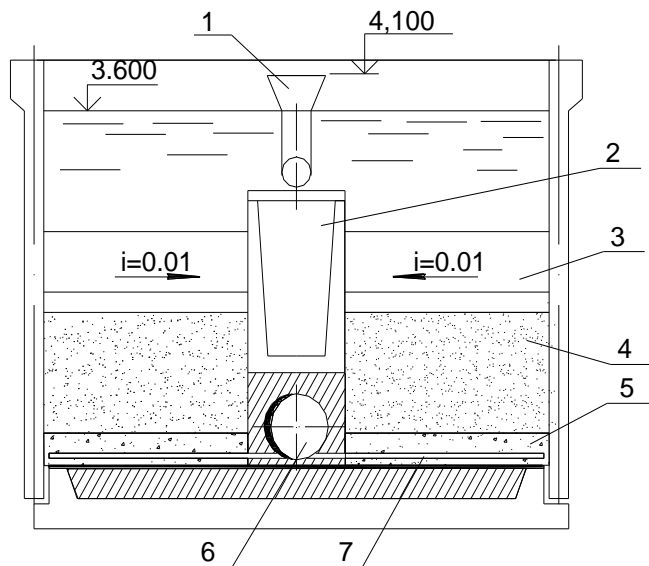
Упрощенную аэрацию с последующим фильтрованием следует применять в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (п. 9.12.1.2) при следующих показателях качества воды, поступающей на фильтры:

- содержание общего железа – до 10 мг/дм^3 , в том числе двухвалентного железа – не менее 70 %;
- pH – не менее 6,8;
- окислительно-восстановительный потенциал – более 100 мВ;
- щелочность – более 2 ммоль/дм^3 ;
- содержание сероводорода – не более $0,5 \text{ мг/дм}^3$;
- содержание аммония – до $1,5 \text{ мг/дм}^3$;
- содержание метана – до $0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Упрощенную аэрацию следует производить при изливе воды из воронки на подающем трубопроводе (рисунок 15.2) или из перфорированного лотка с круглыми или щелевидными отверстиями с высоты от 0,5 до 1,0 м в карман или центральный канал открытых фильтров или подачей воздуха в обрабатываемую воду компрессорами.

Упрощенную аэрацию при применении напорных фильтров необходимо осуществлять путем ввода воздуха в подающий трубопровод перед смесителем согласно СН 4.01.01-2019 (п. 9.12.1.3). В качестве фильтрующей загрузки следует применять кварцевый песок, керамзит, антрацит, пемзу, колотый гранитный щебень и другие инертные материалы, а также щелочные, каталитические, сорбционные материалы.

Конструкцию фильтров для обезжелезивания подземных вод и их расчет принимают аналогично фильтрам для осветления воды (рис.15.2).



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 15.2 – Скорый фильтр для обезжелезивания подземных вод фильтрованием с упрощенной аэрацией

Характеристику фильтрующего слоя и скорость фильтрования при упрощенной аэрации следует принимать по таблице 15.1, при использовании аэраторов или введении реагентов-окислителей – согласно рекомендациям производителей с уточнением на основании результатов инженерных изысканий.

Таблица 15.1–Характеристика фильтрующего слоя и скорость фильтрования при упрощенной аэрации

Характеристики фильтрующего слоя при обезжелезивании воды при упрощенной аэрации					Расчетная скорость фильтрования, м/ч
Минимальный диаметр зерен, мм	Максимальный диаметр зерен, мм	Эквивалентный диаметр зерен, мм	Коэффициент неоднородности	Высота слоя, мм	
0,8	1,8	0,9–1,0	1,5–2	1000	5–7
1,0	2,0	1,2–1,3	1,5–2	1200	7–10

Примечание– При наличии в воде сероводорода следует принимать меньшие значения скорости фильтрования.

15.3. Обезжелезивание методом глубокой аэрации (с применением градири) с последующим фильтрованием через зернистую загрузку осветлительных фильтров

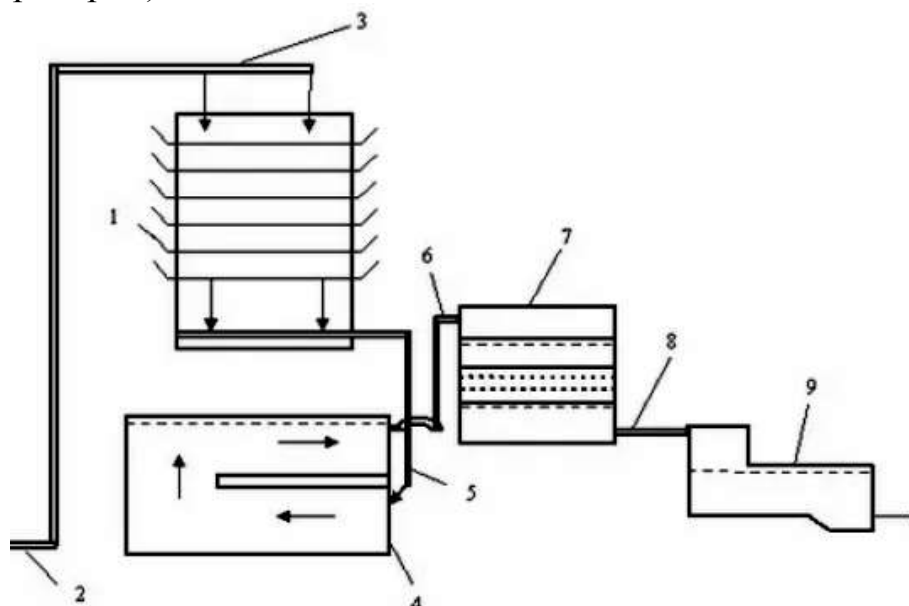
Метод фильтрования с предварительной интенсивной (глубокой) аэрацией следует применять при наличии повышенных концентраций растворенных в воде газов – сероводорода, метана и свободного диоксида углерода, а также при невозможности обеспечения упрощенной аэрацией требуемого содержания кислорода.

При фильтровании с предварительной интенсивной (глубокой) аэрацией следует предусматривать применение аэрационных устройств и напорных или безнапорных скорых фильтров, а также при необходимости – промежуточной емкости (контактного резервуара) между аэратором и фильтрами, с

продолжительностью пребывания воды в ней, исключая образование хлопьев гидроксида железа и выпадение их в осадок.

Глубокая аэрация воды производится: разбрызгиванием воды в воздухе специальными устройствами, пропуском воды через градирни, инжектированием воздуха, барботированием воды, с подачей воздуха через перфорированные трубы или пористые (сетчатые) пластины и др.

На рис. 15.3 приведена схема обезжелезивания методом глубокой аэрации (с применением градирни).



1—контактная градирня с естественной вентиляцией; 2—подача воды из артезианской скважины; 3—разбрызгивание воды над поверхностью загрузки градирни; 4—контактный резервуар; 5—подача воды в контактный резервуар; 6—подача воды на скорый фильтр; 7—безнапорный скорый фильтр; 8—подача воды в резервуар обезжелезиванной воды; 9—резервуар обезжелезиванной воды;

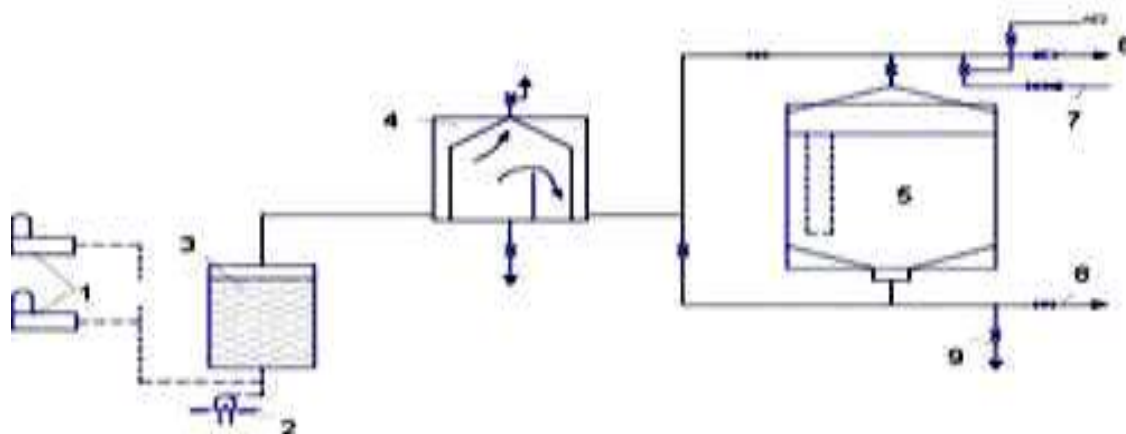
Рисунок 15.3 – Схема обезжелезивания методом глубокой аэрации (с применением градирни)

15.4. Безреагентные методы обезжелезивания: фильтрование на каркасных (патронных) фильтрах; метод «сухого» фильтрования

Метод фильтрования на каркасных фильтрах (рисунок 15.4) следует применять для обезжелезивания воды при содержании общего железа до 5 мг/л; содержания железа в карбонатной форме FeCO_3^{2-} или в бикарбонатной форме $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ до 3 мг/л при расходе до 1000 м³/сут.

В подземную воду из колодца 2 подаётся воздух от компрессоров 1. Далее, обогащённая кислородом воздуха вода подаётся в смеситель 3, в дозатор 4, каркасный фильтр 5. В каркасном фильтре 5 происходят процессы окисления и гидролиза Fe^{2+} . При этом в начале процесса решающую роль играет различие в зарядах керамического патрона, хлопьев гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и ионов железа Fe^{2+} . Патрон служит только опорным каскадом для фильтрующего слоя гидроксида железа. При прохождении воды через слой $\text{Fe}(\text{OH})_3$, предварительно сформированный (намытый) на патронах фильтра, процессы окисления и гидролиза Fe^{2+} завершаются. Железо выпадает в осадок и извлекается из воды.

Фильтр 5 промывают сначала потоком промывной воды сверху вниз по трубопроводу 7, а затем 10–20% регенерационным раствором соляной кислоты HCl тоже сверху вниз.



1 – компрессоры; 2 – трубчатый колодец; 3 – смеситель; 4 – дозатор; 5 – каркасный (патронный) фильтр; 6 – отвод фильтрата; 7 – подача промывной воды; 8 – отвод грязной промывной воды; 9 – отвод использованного регенерационного раствора HCl

Рисунок 15.4 – Обезжелезивание на каркасных (патронных) фильтрах

Метод «сухого» фильтрования (Рис.15.5) предполагает создание водовоздушной эмульсии и ее последующее фильтрование сверху вниз через незатопленную (сухую) зернистую фильтрующую загрузку напорного фильтра с подачей большого расхода воздуха (воздух : вода из скважины = 3:1) и последующим отводом его избытка (сброс воздуха) из междудонного пространства фильтров.

Метод «сухого» фильтрования следует применять при концентрации железа не более 6 мг/дм³, аммония – не более 1,5 мг/ дм³, марганца – не более 1,0 мг/ дм³ при одноступенчатом фильтровании; и при концентрации железа не более 2,0 мг/дм³ – при двухступенчатом фильтровании.

Метод «сухого» фильтрования с двухступенчатым фильтрованием применяется при производительности станции до 5000 м³/сут.

Пленка, образующаяся на зернах фильтрующей загрузки фильтра, состоит из дегидратированных соединений железа, имеющих плотную структуру и в 4–5 раз меньший объем, чем у гидроксида железа, образующегося при упрощенной аэрации с последующим фильтрованием. Прирост потерь напора в фильтрующей загрузке при методе «сухого» фильтрования ниже, а продолжительность фильтроцикла выше, чем при обезжелезивании с упрощенной аэрацией с фильтрованием. Продолжительность фильтроцикла – от нескольких месяцев до года.



Рисунок 15.5 – Обезжелезивание методом «сухого» фильтрования

Вода перед подачей на напорный фильтр 2 насыщается сжатым воздухом и затем воздушно-водяная эмульсия фильтруется через сухую незатопленную загрузку. В качестве загрузки применяют кварцевый песок, антрацит, керамзит, винипласт, полиэтилен, полипропилен.

15.5. Обезжелезивание и деманганация воды методом фильтрации в подземных условиях (в пласте) – метод Виредокс

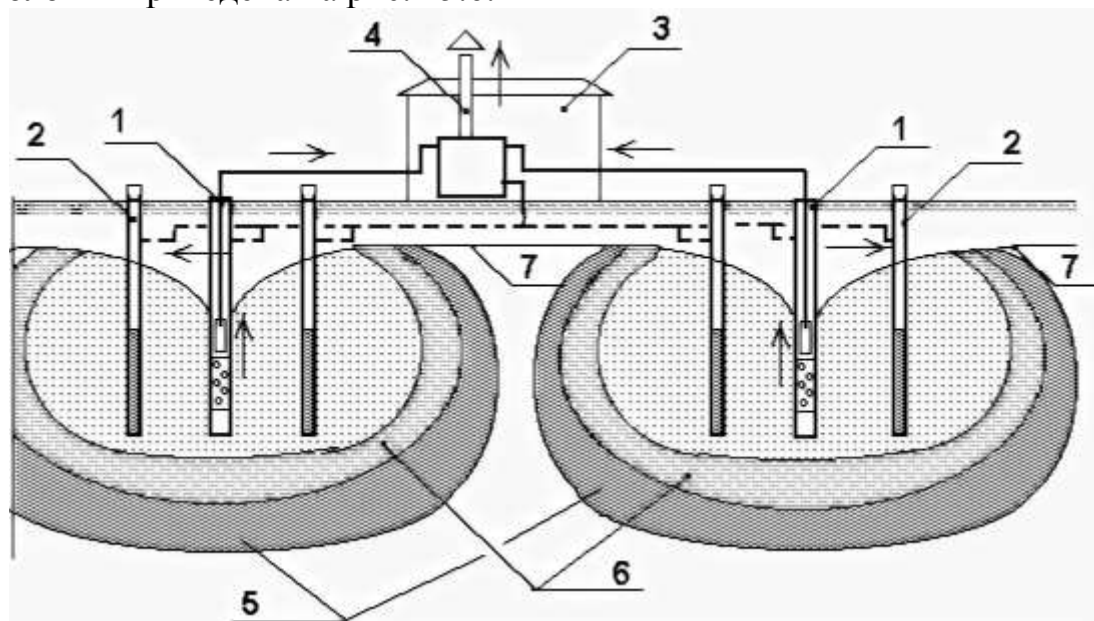
Применение этого способа рекомендуется при содержании железа в подземной воде до 6 мг/дм³ и марганца – до 0,5 мг/дм³.

Обезжелезивание и деманганация воды непосредственно в водоносном горизонте производится путем создания в нем окислительной зоны с повышенным окислительно-восстановительным потенциалом и последующем протекании подземной воды, забираемой из скважин, через указанную зону.

Окислительная зона создается закачкой предварительно аэрированной воды в водоносный горизонт.

В естественных условиях в водоносном пласте фиксируется восстановительная бескислородная обстановка: окислительно-восстановительный потенциал Eh изменяется от -30 мВ до 80 мВ; рН составляет $5,8 - 6,5$; содержание CO_2 достигает $200 - 240$ мг/л. При искусственном насыщении подземных вод кислородом и при удалении из них аэрацией сероводорода H_2S и избыточных концентраций растворенной двуокиси углерода CO_2 , на участках водозаборных скважин происходит изменение состояния среды внутри водоносного горизонта с восстановительной на окислительную. Eh увеличивается до $250 - 500$ мВ, рН повышается до $7,0$ и более. В результате в водоносном пласте формируются "зоны осаждения", в пределах которых происходит интенсивное окисление железа и марганца. Такая зона создается закачкой в пласт через скважины или другие устройства

обезжелезенной воды, насыщенной кислородом. Принципиальная схема такой технологии приведена на рис. 15.6.



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

Рисунок 15.6 – Схема обезжелезивания и деманганации воды при использовании метода Vyredox (Виредокс)

В результате смешивания питательной воды с подземной, достигается смещение процессов окисления - восстановления в сторону окисления. По этой причине железо окисляется, подвергается гидролизу и выпадает в осадок в толще пород. В адсорбционном слое происходит связывание большого количества кислорода. В результате вовлечения в фильтрацию большого объема водовмещающих пород, скорость фильтрования в зоне отделения осадка очень невелика и водовмещающие породы пласта, окружающие скважину, начинают работать как медленные фильтры,

С течением времени, в результате истощения кислорода в адсорбционном слое, в отбираемой воде возрастает содержание железа. Процесс "зарядки" повторяется. На поверхности зерен водоносных пород образуется каталитическая пленка, аналогичная образующейся в скорых фильтрах при обезжелезивании. В состав каталитической пленки входит гидроокись и гидрозакись железа. Сорбционная способность образовавшейся гидроокиси зависит от рН: чем выше рН, тем выше сорбционная способность, из-за увеличения отрицательного потенциала $Fe(OH)_3$. По мнению авторов метода, большое влияние на процесс оказывают железобактерии *Leptothrix* и *Gallionella*, которые осуществляют биологическое окисление железа. Осаждение железа происходит в первой зоне, наиболее удаленной от водозаборной скважины. Поскольку при приближении к скважине количество бактерий увеличивается, то увеличивается также число мертвых железобактерий. Мертвые железобактерии, поступающие далее с водой, составляют часть органических веществ, являющихся источником углерода для бактерий, которые имеют склонность к окислению марганца. Это связано с тем,

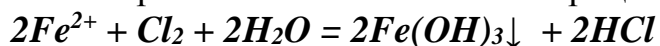
что чем ярче у бактерий выражена склонность к окислению марганца, тем больше их потребность в органическом углероде, необходимом для роста и размножения. С другой стороны данный процесс происходит ближе к скважине, где достигнуто более высокое значение показателя Eh. В зависимости от условий процесс закачки воды может осуществляться как через специальные питательные (окислительные), так и непосредственно через эксплуатационные скважины. И в том и в другом случае установки рассчитаны на периодическую работу с чередованием циклов закачки в пласт питательной воды и отбора обезжелезенной грунтовой воды. Поэтому для обеспечения непрерывной подачи потребителю обезжелезенной воды несколько установок объединяются в систему. В период закачки в пласт питательной воды происходит “зарядка” зоны пласта вокруг скважин, для чего требуется определенное время, за которое произойдет сорбция кислорода на поверхности частиц пород пласта, в достаточном количестве в нем размножатся железо- и марганецпоглощающие бактерии и поверхность зерен пород или стенки трещин покроются каталитической пленкой из соединений железа и марганца. Осаждение железа происходит преимущественно во внешней, более удаленной от скважин зоне пласта. Здесь существенно увеличивается количество железобактерий и, соответственно, возрастает число отмирающих железобактерий. Часть из последних, перемещаясь потоком подземных вод при откачке по мобильным порам пласта в направлении фильтра скважин, поставляет органический углерод, необходимый для жизнедеятельности поглощающих марганец бактерий. Эти бактерии развиваются во внутренней зоне вблизи ствола скважины и окисляют марганец, переводя его в нерастворимую форму. Таким образом, технология обезжелезивания и очистки подземных вод в пласте соответствует условиям, которые создает сама природа с помощью различных типов бактерий при изменении геохимической обстановки за счет насыщения воды кислородом.

15.6. Реагентные методы обезжелезивания подземных вод (обработка окислителями, фильтрование воды через модифицированную загрузку)

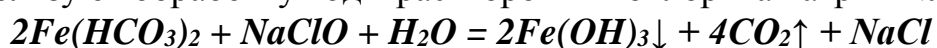
1. Применение реагентов-окислителей

1.1. Окисление хлором и гипохлоритом натрия.

После обработки воды хлором содержание железа становится меньше 0,1 мг/л. В результате окисления двухвалентного железа при обработке воды образуется гидроксид железа, либо продукты неполного гидролиза – основные соли железа различного состава. Этот процесс можно описать реакцией:



Этот метод весьма распространен, но обладает рядом недостатков: хлор вызывает сложности при его хранении, придаёт неприятный вкус и запах воде, высоко токсичен и несёт угрозу при аварийных ситуациях. В последние годы используют обработку воды раствором гипохлорита натрия NaOCl:



Преимущества: эффективность в течение длительного времени, низкая требуемая доза, сильное воздействие на органические вещества и способность улучшать органолептические свойства воды.

1.2. Обработка воды перманганатом калия ($KMnO_4$). Он может также вводиться в сочетании с гипохлоритом натрия $NaOCl$ с целью обработки сложных вод и экономии дорогостоящего перманганата калия. Введение $KMnO_4$ перед подачей в воду $NaOCl$ разрушает органические вещества. Ввод реагентов в другой последовательности приводит к разрушению хлорпродукта.

1.3. Озонирование является перспективным методом окисления железа. Одновременно с обеззараживанием происходят процессы окисления Fe^{2+} , обесцвечивание воды, дезодорация и улучшение органолептических свойств воды. Преимуществом озонирования является быстрое и эффективное удаление всех видов микробов, быстрое превращение озона в кислород без образования побочных продуктов, изменения кислотности, вкуса и запаха. Недостатки озонирования: озон причислен к особо опасным веществам, несущим угрозу при аварийных ситуациях; кроме того, медицинские исследования показали, что озонирование воды кроме больных клеток убивает и здоровые. Как отмечается во французском справочнике Дегремон, озонирование применяют при высокой цветности, мутности, при высоком содержании железа, гуминовых кислот и комплексообразующих агентов, вызывающих значительное замедление скорости окисления и выпадения железа.

1.4. Окисление на основе каталитической загрузки. Метод применяют при концентрации железа до 10 мг/л и рН, равном 6,2–8,5. Окисление железа происходит на поверхности специальной фильтрующей загрузки. В её основе – диоксид марганца. В присутствии диоксида марганца железо легко окисляется и оседает. Среди плюсов окисления можно выделить относительную простоту, высокую производительность, эффективность, экономичность. Однако системы имеют ряд ограничений: каталитическое окисление неэффективно в отношении органического железа, которое образует на поверхности гранул органическую пленку, метод не эффективен при содержании железа в воде более 10–15 мг/л, а наличие марганца в воде ухудшает эффективность обезжелезивания. Оптимальный эффективный размер частиц – от 0,6 до 1 мм, а скорость фильтрования – от 5 до 15 м/ч.

2. Фильтрация через модифицированную загрузку

Способы модификации фильтрующих загрузок для обезжелезивания и обезмарганцевания воды, применяемые реагенты и концентрации их растворов приведены в таблице (п.16.1.43 Пособия П1-2019):

Таблица 15.2

Фильтрующий материал	Каталитическая пленка	Способ получения пленки
Кварцевый песок	Оксиды марганца	Выдерживание фильтрующего материала в течение 24 ч в растворе $KMnO_4$ с концентрацией 0,5 %, с коррекцией активной реакции среды аммиаком до рН

		= 9
Кварцевый песок	Оксиды железа и марганца	Последовательное выдерживание фильтрующего материала: а) в течение 2 ч в растворе сульфата железа, концентрацией 0,7%; б) в течение от 3 до 5 ч в растворе $KMnO_4$ с концентрацией 0,1 %.
Кварцевый песок	Оксиды железа	В следующей последовательности: а) выдерживание фильтрующего материала в течение 30 мин в растворе $FeSO_4$ концентрацией 0,1 %; б) пропускание в течение 8–10 минут через фильтрующий материал раствора активного хлора концентрацией 0,1% при скорости фильтрования от 2 до 3 м/ч.
Кварцевый песок	Оксиды марганца	В следующей последовательности: а) выдерживание фильтрующего материала в течение 24 ч в растворе $MnCl_2$ или $MnSO_4$ с концентрацией 3 %; б) пропускание через фильтрующий материал раствора $KMnO_4$ с концентрацией 0,05% со скоростью фильтрования 5 м/ч, с коррекцией значения рН до 6,5 дозированием серной кислоты до $pH = 6,5$ до момента прекращения поглощения марганца загрузкой при получении одинаковой концентрации Mn^{2+} в исходном растворе и фильтрате; в) выдерживание фильтрующего материала в течение 24 ч в растворе $MnCl_2$ или $MnSO_4$ с концентрацией 3 %
Сульфоуголь	Оксиды марганца	В следующей последовательности: а) выдерживание фильтрующего материала в растворе $MnCl_2$ с концентрацией 10 %; б) пропускание через фильтрующий материал раствора $KMnO_4$ с концентрацией 1%

16.1. Методы удаления марганца из подземной воды

Окисление марганца в присутствии кислорода следует осуществлять при значениях рН более 7,8 и Eh – более 650 мВ. При присутствии марганцеоксиляющих микроорганизмов процесс может протекать и при меньших значениях указанных показателей (п. 16.2.1 Пособия П1-2019).

При содержании в воде железа и марганца необходимо разделение процесса их удаления на две ступени:

- первая – обезжелезивание;
- вторая – обезмарганцевание.

Предусматривают применение открытых и закрытых фильтров с загрузкой из инертного материала, как правило, кварцевого песка с крупностью зерен от 0,7 до 2 мм. Скорость фильтрования принимают от 5 до 20 м/ч.

Скорость образования на зёрнах фильтрующей загрузки каталитической пленки из соединений железа и марганца при обезмарганцевании значительно ниже, чем при обезжелезивании, и продолжительность ее формирования достигает 6 месяцев. На зернах загрузки при этом образуется пленка черного цвета из гидроксида марганца и продуктов жизнедеятельности марганцевых бактерий.

Продолжительность формирования каталитической пленки на зернах загрузки при обезмарганцевании может быть сокращена введением в воду раствора перманганата калия или добавлением к исходной загрузке фильтров фильтрующего материала из действующих в аналогичных условиях фильтров станции водоподготовки.

При небольших концентрациях железа и марганца, и производительности станции водоподготовки до 100 м³/ч предусматривают обезжелезивание и обезмарганцевание воды на одном напорном или открытом фильтре с задержанием железа в верхней части фильтрующего слоя, марганца – в нижней. Высоту слоя определяют, исходя из данных, полученных в процессе инженерных изысканий (п.16.2.4 Пособия П1).

Для эффективного протекания процесса обезмарганцевания необходимо:

- содержание кислорода в воде после аэрации должно быть более 4 мг/дм³;
- ввод дополнительных окислителей не осуществляется;
- повышение рН с помощью щелочных реагентов, не тормозящих протекание каталитического процесса обезмарганцевания, и не приводящих к превышению равновесного насыщения воды карбонатом кальция рН_s;
- производить фильтрование после образования на зёрнах фильтрующей загрузки плёнки из соединений железа и марганца, обеспечивающей автокаталитичность процесса удаления железа и марганца.

Фильтры для обезмарганцевания следует загружать мелко- и среднезернистой загрузкой. Продолжительность фильтроцикла следует

устанавливать на основании результатов инженерных изысканий, предварительно принимать до 7 сут и уточнять при эксплуатации.

Тема 17. Фторирование и обесфторивание воды

#Теоретический раздел

17.1. Фторирование воды. Реагенты, применяемые для фторирования

Фторирование воды необходимо при содержании фтора менее 0,5 мг/л. Фторирования питьевой воды (увеличение содержания фторидов до нормативных) осуществляется путём добавления фторсодержащих реагентов (растворов и сухих порошков). При этом после обработки воды фактическая концентрация фтора в питьевой воде не должна отличаться от заданной концентрации более чем на 0,1 мг/л.

В качестве реагентов применяют: кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 ; кремнефтористую кислоту H_2SiF_6 ; фтористый натрий NaF ; кремнефтористый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$; фтористый кальций CaF_2 ; фтористоводородную кислоту HF ; кремнефтористый калий K_2SiF_6 ; кремнефтористый алюминий $\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$; фтористый алюминий AlF_3 и др.

Несмотря на то, в какой форме находится реагент – в виде порошка или раствора, все они подаются в воду в виде раствора. На большинстве водоочистных комплексов фторирование является завершающей стадией очистки и предшествует хлорированию.

В случае если подземная вода подаётся потребителю без очистки, то фтористые соединения поступают непосредственно в напорные водоводы. При небольшой нагрузке на фильтры фторсодержащие реагенты вводят перед фильтрами, при большой нагрузке – после фильтров, в трубопровод между фильтрами и РЧВ или непосредственно в РЧВ.

17.2. Методы обесфторивания воды

Обесфторивание воды необходимо при содержании фтора в подземной воде более 1,5 мг/л. Методы для снижения содержания фтора в воде:

1) сорбция фтора на фосфате калия или на свежевыпавших осадках гидроксида алюминия или магния; метод применяют для обработки подземных вод при необходимости их одновременного умягчения (реагентным методом) или осветления;

2) фильтрование воды через фторселективные материалы (сильноосновные катиониты и аниониты, активированный оксид алюминия, магниезиальные сорбенты, фосфат кальция, специально обработанные активированные угли, модифицированные загрузки, клиноптилолит) – при этом фтор удаляется в процессе пропускания обрабатываемой воды через сорбент в ходе ионного обмена;

3) обесфторивание воды с использованием в качестве фторселективной загрузки сильноосновных катионитов и анионитов; наиболее эффективен при обесфторивании подземных вод одновременно с их опреснением;

4) обесфторивание активированным оксидом алюминия, который является наиболее дешёвым сорбентом, простым в изготовлении и ёмким по поглощению фтора.

Тема 18. Сооружения для повторного использования промывных вод после фильтров. Обработка осадков водопроводных станций

#Георетический раздел

18.1. Обработка промывных вод и осадка станций водоподготовки

Способы обработки промывных вод и осадка на станциях водоподготовки, а также необходимость повторного использования промывных вод фильтров принимают на основании технико-экономического обоснования с учетом требований п. 9.1.4 СН 4.01.01-2019.

При повторном использовании промывных вод на станциях осветления и обезжелезивания воды фильтрованием промывные воды фильтровальных сооружений следует отстаивать, а затем равномерно перекачивать в трубопроводы подачи воды на сооружения водоподготовки. На станциях осветления воды отстаиванием с последующим фильтрованием и на станциях реагентного умягчения промывные воды следует равномерно перекачивать в трубопроводы перед смесителями или в смесители с отстаиванием или без него, в зависимости от качества воды (п.21.1 Пособия П1).

Осадок, образующийся на сооружениях осветления воды отстаиванием, и осадок реагентного хозяйства следует направлять на обезвоживание и складирование, с предварительным сгущением или без него.

Осветленная вода, выделившаяся в процессе сгущения и обезвоживания осадков, должна направляться в трубопроводы перед смесителями или в смесители.

В технологических схемах обработки промывных вод и осадка следует предусматривать следующие основные сооружения: резервуары, отстойники, сгустители, накопители или площадки замораживания и подсушивания осадка.

При обосновании, допускается обработка промывных вод фильтрованием, а также применение методов механического обезвоживания осадка.

Условия применения и расчетные параметры сооружений для обработки промывных вод и осадка станции водоподготовки приведены в Приложении Н, Пособия П1.

Резервуары-усреднители промывных вод следует устраивать при двухступенчатой очистке воды для приема промывных вод и последующего перекачивания в трубопроводы перед смесителем без отстаивания.

Объем промывной воды $W_{\text{пром}}$, м³, определяется по формуле:

$$W_{\text{пром}} = \frac{N_{\phi}^{np} F_1 v_{\text{пр}} t_{\text{пр}}}{60}, \quad (21.1)$$

где N_{ϕ}^{np} – количество одновременно промываемых фильтров, шт.;

F_1 – площадь одного фильтра, м²;

$v_{\text{пр}}$ – скорость подачи воды при промывке, м/ч, принимается по таблице 11.1 Пособия П1;

$t_{\text{пр}}$ – продолжительность промывки, мин.

Количество резервуаров промывных вод следует принимать не менее двух. Вместимость каждого – не менее объема от одной промывки фильтра продолжительностью 10 мин.

Осветление промывных вод отстаиванием следует применять при одноступенчатом фильтровании и обезжелезивании.

Продолжительность отстаивания промывных вод без обработки их реагентами следует принимать для станций безреагентного обезжелезивания воды от 4 до 12 ч, для станций осветления воды и реагентного обезжелезивания – 2 ч. (п.21.8 Пособия П1).

Накопители следует предусматривать для обезвоживания и складирования осадка с удалением осветленной воды и воды, выделившейся при его уплотнении. Расчетный период подачи осадка в накопитель следует принимать не менее 5 лет.

В качестве накопителей следует использовать овраги, отработавшие карьеры или обвалованные грунтом спланированные площадки на естественном основании глубиной не менее 2 м. При наличии в осадке токсичных веществ в накопителях следует предусматривать противofильтрационные экраны.

18.2. Сооружения по обработке промывных вод и обезвоживанию осадка станции обезжелезивания

Расчетные параметры сооружений для обработки промывных вод и обезвоживанию осадка станции обезжелезивания приведены в Приложении П, Пособия П1.

Отстойники промывных вод следует предусматривать для приема периодически поступающих промывных вод после промывки фильтров обезжелезивания, отстаивания с последующим равномерным перекачиванием осветленной воды в трубопроводы перед фильтрами, в системы канализации или в водные объекты в соответствии с требованиями законодательства по охране и использованию вод.

При проектировании системы оборота промывных вод станции обезжелезивания следует предусматривать: подачу промывных вод от промывки фильтров в отстойники; осветление воды в отстойниках; равномерную перекачку осветленной воды в исходную воду, поступающую на фильтры; уплотнение осадка в отстойниках; перекачку осадка на шламовые площадки для обезвоживания.

Отстойники промывных вод принимают статические, прямоугольные в плане, с высотой от 5 до 6 м. Угол между наклонными стенками призматического днища принимают от 45° до 50°. Отстойники могут предусматриваться одно-, двух- или четырехсекционными в зависимости от объема промывных вод от одной промывки фильтра. Размеры секций отстойников в плане, как правило, принимаются 4,5х4,5; 4,5х6 или 6м х 6 м.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

#Структура

2.1. Материалы для практических занятий по дисциплине «Водоподготовка»

Перечень практических работ

Практическая работа №1.....	124
Практическая работа №2.....	129
Практическая работа №3.....	147
Практическая работа №4.....	160
Практическая работа №5.....	164
Практическая работа №6.....	165
Практическая работа №7.....	167
Практическая работа №8.....	168
Практическая работа №9.....	170
Приложения.....	174
Приложение 1.....	174
Приложение 2.....	175
Приложение 3.....	176
Приложение 4.....	176
Приложение 5.....	177
Приложение 6.....	177
Приложение 7.....	178
Литература для выполнения практических работ.....	178

Практическая работа №1

**Определение производительности водоочистных станций.
Выбор методов обработки воды и разработка технологических схем для источников водоснабжения различного качества и в зависимости от требований потребителя. Разработка высотной схемы движения воды по сооружениям.**

#Практический раздел

1. Выбор технологических схем подготовки поверхностных вод для питьевых целей

1.1. Определение полной производительности водоочистной станции

Суммарный расход воды, поступающей на станцию водоподготовки, следует определять с учетом расхода воды на собственные нужды станции. Расходы воды на собственные нужды станций следует определять расчетами. При проведении предварительной оценки среднесуточные (за год) расходы исходной воды на собственные нужды станций осветления и обезжелезивания, в соответствии с [1] (п. 9.1.3), следует принимать: при повторном использовании промывных вод – от 3% до 4% от расхода воды, подаваемой потребителям; без повторного использования промывных вод – от 10 % до 14 %; для станций умягчения – от 20% до 30%.

Станции водоподготовки следует рассчитывать на равномерную работу в течение 1 суток максимального водопотребления, за исключением станций производительностью до 5000 м³/сут, для которых допускается предусматривать работу в течение части суток. При этом необходимо предусматривать возможность отключения отдельных сооружений для технического обслуживания и ремонта. При производительности станций водоподготовки более 5000 м³/сут необходимо предусматривать повторное использование промывных вод фильтров согласно [1] (9.1.4).

Производительность очистной станции, м³/сут, определяется по формуле:

$$Q_{o.c} = \alpha Q_{сут}^{max} + Q_{доп}, \quad (1.1)$$

где α – коэффициент учета расхода воды на собственные нужды станции ($\alpha=1,03..1,04$ при повторном использовании промывной воды, $\alpha=1,1..1,14$ без повторного использования);

$Q_{сут}^{max}$ – расход воды в сутки максимального водопотребления, м³/сут;

$Q_{доп}$ – объём воды, необходимый для восполнения противопожарного запаса воды, м³, (объём воды на пожаротушение) определяется:

$$Q_{доп} = 3,6t_{пож}(mq_{пож} + m'q'_{пож}), \quad (1.2)$$

$t_{пож}$ – расчетная продолжительность пожара, ч, (принимается равной три часа);

m и m' – число одновременных пожаров соответственно в населенном пункте и на промышленных предприятиях (принимается в соответствии с заданием на проектирование);

$q_{\text{пож}}$, $q'_{\text{пож}}$ – расход воды на один пожар соответственно в населенном пункте и на промышленном предприятии, л/с.

1.2. Выбор основных технологических методов, применяемых для очистки поверхностных вод

Методы обработки воды, состав и расчётные параметры сооружений водоподготовки, расчётные дозы реагентов следует устанавливать в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, производительности станции, местных условий, результатов инженерных изысканий, данных эксплуатации объектов-аналогов [1] (9.1.1). Основные методы и сооружения водоподготовки предварительно принимаются по таблице А.1 Приложения А [2].

Качество природной воды, подаваемой в систему питьевого водоснабжения, должно соответствовать требованиям СанПиН 10-124 РБ 99 “Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества” [5].

В соответствии с заданием на проектирование анализируется качество воды в источнике водоснабжения и сравнивается с требованиями СанПиН [5], выбираются методы улучшения качества воды.

Для удаления из воды крупных плавающих примесей и взвешенных веществ следует применять сетчатые барабанные фильтры, а для удаления взвешенных веществ и планктона – микрофильтры. Проектирование барабанных сеток и микрофильтров следует осуществлять в соответствии с рекомендациями [2] (раздел 5). Количество резервных сетчатых фильтров следует принимать в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.2.2).

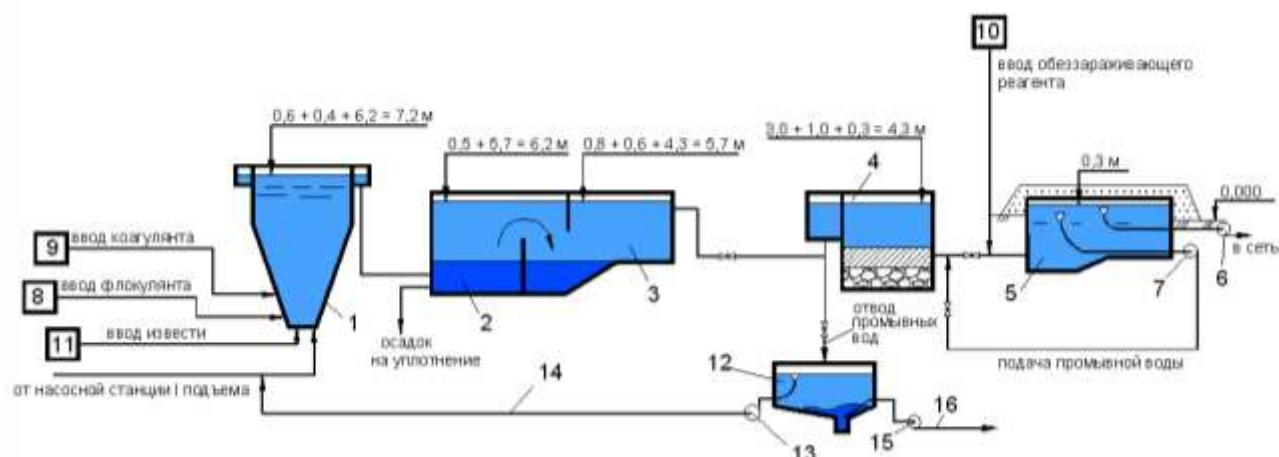
Технические характеристики барабанных сеток и микрофильтров приведены в Приложении 2.

1.3. Разработка технологической схемы станции водоподготовки. Выбор состава сооружений

Выбор основных сооружений для осветления и обесцвечивания поверхностных вод следует осуществлять по таблице А.2 [2] или по Приложению 1 методических указаний.

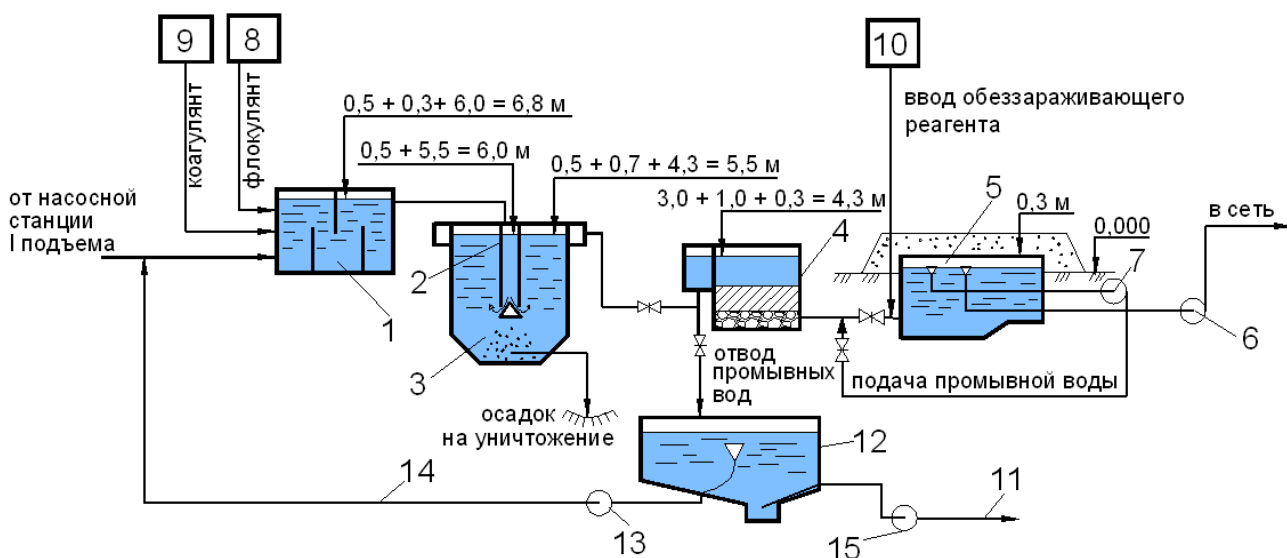
Традиционные технологии водоподготовки рассчитаны на удаление из воды поверхностных водоемов взвешенных веществ, фито- и зоопланктона, снижения цветности. Они предусматривают обработку воды по классическим технологическим схемам, основанным на применении микрофильтрации (в случаях наличия в воде водорослей в количествах более 1000 кл/мл), добавления реагентов с последующим ее отстаиванием или осветлением в слое взвешенного осадка, скорого фильтрации или контактного осветления и обеззараживания воды хлором или озоном. В целях поддержания водопроводных сооружений в необходимом санитарном состоянии и для частичного обесцвечивания вод, содержащих гумусовые соединения, осуществляется первичное хлорирование воды, поступающей на очистную станцию.

На рис.1.1–1.3 представлены варианты технологических схем очистки природных вод поверхностных источников водоснабжения. Все три схемы применяются при мутности исходной воды до 1500 мг/л, цветности – до 120 градусов. Схема с горизонтальными отстойниками и скорыми фильтрами (рис. 1.1) применяется при производительности станции свыше 30000 м³/сут, схема с вертикальными отстойниками и скорыми фильтрами (рис. 1.2) – при производительности станции до 5000 м³/сут, схема с осветлителями со слоем взвешенного осадка и скорыми фильтрами (рис. 1.3) – при производительности станции более 5000 м³/сут.



1 – смеситель; 2 – камера хлопьеобразования (камера реакции); 3 – горизонтальный отстойник; 4 – осветлительный фильтр; 5 – РЧВ; 6 – насос насосной станции II подъема; 7 – насос для подачи промывной воды; 8 – блок сооружений для приготовления флокулянта; 9 – блок сооружений для приготовления коагулянта; 10 – блок сооружений для приготовления обеззараживающего реагента; 11 – блок сооружений известкового хозяйства; 12 – отстойник промывных вод; 13 – насос для подачи промывной воды в трубопровод перед смесителем; 14 – трубопровод отвода промывной воды; 15 – насос для удаления осадка из отстойника; 16 – отвод осадка на дальнейшую обработку;

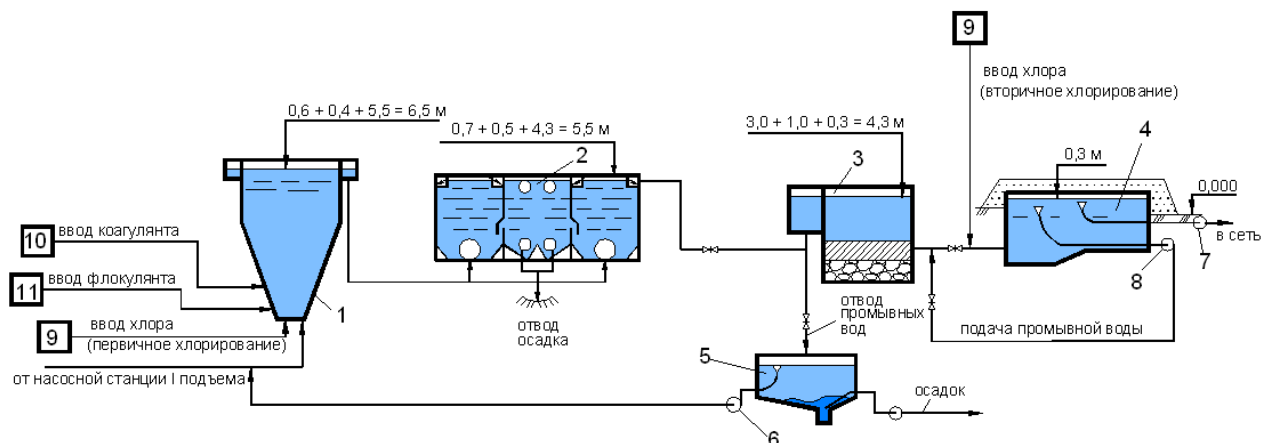
Рис. 1.1. Технологическая схема осветления и обесцвечивания воды с горизонтальным отстойником и скорым осветлительным фильтром



1 – смеситель; 2 – камера реакции; 3 – вертикальный отстойник; 4 – осветлительный фильтр; 5 – РЧВ; 6 – насос насосной станции II подъема; 7 – насос для подачи промывной

воды; 8 – блок сооружений для приготовления флокулянта; 9 – блок сооружений для приготовления коагулянта; 10 – блок сооружений для приготовления обеззараживающего реагента; 11 – отвод осадка на обработку; 12 – отстойник промывных вод; 13 – насос для подачи промывной воды в трубопровод перед смесителем; 14 – трубопровод отвода промывной воды; 15 – насос для удаления осадка из отстойника;

Рис. 1.2. Технологическая схема осветления и обесцвечивания воды с вертикальным отстойником и скорым осветлительным фильтром



1 – смеситель; 2 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 3 – осветлительный фильтр; 4 – РЧВ; 5 – отстойник промывных вод; 6 – насос подачи промывной воды в «голову» сооружений; 7 – насос насосной станции II подъема; 8 – насос для подачи промывной воды на промывку фильтра; 9 – блок сооружений для приготовления обеззараживающего реагента; 10 – блок сооружений для приготовления коагулянта; 11 – блок сооружений для приготовления флокулянта;

Рис. 1.3. Технологическая схема осветления и обесцвечивания воды с осветлителем со слоем взвешенного осадка и скорым осветлительным фильтром

1.4. Составление высотной схемы расположения сооружений водоочистой станции

Высотная схема очистной станции – это графическое изображение в профиле всех ее сооружений с взаимной увязкой высоты их расположения на местности. Такая схема позволяет установить зависимость между уровнями воды и основными отметками сооружений станции.

Для осветления и обесцвечивания воды хозяйственно-питьевого назначения используют самотечные системы, в которых поступающая на обработку вода протекает самотеком в результате разницы гидростатических уровней в различных частях сооружений.

При выполнении курсового проекта для выбранной технологии очистки необходимо разработать высотную схему. Составление высотной схемы начинают с наиболее низко расположенного сооружения – резервуара чистой воды. Отметку наивысшего уровня воды в нем принимают, исходя из строительных и санитарных соображений с учетом рельефа местности, обычно на 0,15-0,5 м выше отметки земли.

Потери напора воды в сооружениях, соединительных коммуникациях и измерительных устройствах следует определять гидравлическими расчетами.

Для предварительного расчета высотного расположения сооружений потери напора допускается принимать на основании п.9.19.2 [1]:

в сооружениях:

барабанные сетки	0,4-0,6 м
микрофильтры	0,5-1,0 м
входные (контактные) камеры.....	0,3-0,5 м
устройства для ввода реагентов.....	0,1-0,3 м
гидравлические смесители.....	0,5-1,0 м
механические смесители.....	0,1-0,2 м
гидравлические камеры хлопьеобразования.....	0,4-0,5 м
механические камеры хлопьеобразования.....	0,1-0,2 м
отстойники.....	0,7-1,0 м
осветлители с взвешенным осадком.....	0,7-0,8 м
скорые фильтры.....	3,0-3,5 м
контактные осветлители и префильтры.....	2,5-3,0 м
медленные фильтры.....	1,5-2,0 м

в соединительных коммуникациях:

от сетчатых барабанных фильтров (барабанных сеток, микрофильтров) до входных камер или смесителей	0,2-0,4 м
от смесителей к отстойникам, осветлителям со взвешенным осадком, контактным осветлителям.....	0,3-0,5 м
от отстойников, осветлителей со взвешенным осадком, префильтров к фильтрам.....	0,5-0,6 м
от фильтров или контактных осветлителей к резервуарам фильтрованной воды.....	0,5-1,0 м
от резервуаров фильтрованной воды к насосным станциям.....	1,0-1,5

Потери напора в измерительных устройствах учитывают дополнительно с учетом их типа:

– для измерительных сужающих устройств:

на выходе со станции – 1,0 м;

в технологических расходомерах на отдельных сооружениях – от 0,2 до 0,5 м;

– для ультразвуковых измерительных устройств – от 0,1 до 0,3 м.

На высотной схеме, кроме основных сооружений, должны быть показаны отметки уровней раствора коагулянта и других реагентов в растворных и расходных баках, отметки оси промывных насосов для перекачки раствора коагулянта, воздуходувок, вспомогательной аппаратуры.

Практическая работа №2

**Проектирование и расчет сооружений блока реагентного хозяйства.
Определение оптимальных доз реагентов: дозы коагулянта, флокулянта, подщелачивающего реагента, хлорсодержащего реагента или озона, фторсодержащего реагента (в зависимости от качества обрабатываемой воды). Расчет сооружений и оборудования для приготовления реагентов.
Составление схемы приготовления, хранения и дозирования реагентов.
Разработка компоновочного плана станции водоподготовки.**

#Практический раздел

Пример №1

Определить полную производительность водоочистной станции, разработать технологическую схему, выбрать состав водоочистных сооружений и рассчитать сооружения реагентного хозяйства.

Исходные данные:

Расход воды в сутки максимального водопотребления – 74075 м³/сут; расход воды на один пожар в населенном пункте – 40 л/с; число одновременных пожаров в населенном пункте – 2; расход воды на один пожар на промышленном предприятии – 35 л/с; число одновременных пожаров на промпредприятии – 1. Источник водоснабжения – река; показатели качества воды в источнике приведены в табл. 2.1.; назначение станции – питьевое водоснабжение, станция работает круглосуточно.

Таблица 2.1. Показатели качества воды в источнике водоснабжения и требуемые по СанПиН 10-124 РБ «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Минздрав РБ, Минск, 1999)

№п/п	Наименование показателей	Значение показателя в источнике	Норматив по СанПиН	Метод очистки
1	Концентрация взвешенных веществ (мутность), мг/л	85...115	1,5	осветление
2	Цветность, градус цветности	80...160	20	обесцвечивание
3	Жесткость общая, ммоль/л (мг-экв/л)	1,59	7,0	
4	Жесткость некарбонатная, ммоль/л (мг-экв/л)	0,74		
5	Щелочность, мг-экв/л	0,85		необходимость подщелачивания определяется при расчёте $D_{щ}$

№п/п	Наименование показателей	Значение показателя в источнике	Норматив по СанПиН	Метод очистки
6	Содержание железа, мг/л (мг/дм ³)	0,9	0,3	обезжелезивание коагулированием
7	Водородный показатель, рН	7,4-7,75	6-9	
8	Запах и привкус, баллы	3,0	2,0	дезодорация
9	Перманганатная окисляемость, мг/л	1,2	5,0	
10	Фториды (F ⁻), мг/л	1,2	1,5	
11	Общее микробное число	70	Не более 50	обеззараживание
12	Фито- и зоопланктон (содержание клеток в 1 мл)	700	До 1000	

Выбор схемы и состава водоочистных сооружений

Сравнение показателей качества воды в поверхностном источнике водоснабжения с требованиями СанПиН показывает, что она не удовлетворяет требованиям по мутности, цветности, запаху и привкусу, содержанию железа, общему микробному числу, содержанию фторидов. Поэтому вода должна подвергаться осветлению, обесцвечиванию, обезжелезиванию, снижению интенсивности запаха и привкуса.

Осветление и обесцвечивание воды коагулированием предусматривается с применением в качестве коагулянта сернокислого алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Специальные методы обезжелезивания воды в данном случае не предусматриваются, так как обезжелезивание будет происходить при осветлении и обесцвечивании воды коагулированием. Для снижения интенсивности запаха и привкуса предусматривается дезодорация. Для обеззараживания воды принимается хлорирование, осуществляемое перед поступлением воды в РЧВ.

Полная производительность водоочистной станции при условии оборота промывных вод фильтров составит:

$$Q_{\text{полн.с}} = \alpha Q_{\text{сут}}^{\text{max}} + Q_{\text{доп}} = \alpha Q_{\text{сут}}^{\text{max}} + 3,6 \cdot t_{\text{пож}} (mq_{\text{пож}} + m'q'_{\text{пож}}) = \quad (1.1)$$

$$= 1,04 \cdot 74075 + 3,6 \cdot 3 \cdot (2 \cdot 40 + 1 \cdot 35) = 78280 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

где α – коэффициент учета расхода воды на собственные нужды станции ($\alpha=1,03..1,04$ – при повторном использовании промывной воды, $\alpha=1,1..1,14$ – без повторного использования);

$Q_{\text{сут}}^{\text{max}}$ – расход воды в сутки максимального водопотребления, м³/сут;

$t_{\text{пож}}$ – расчетная продолжительность пожара, ч, принимается равной 3 часа;

m и m' – число одновременных пожаров соответственно в населенном пункте и на промышленных предприятиях (принимается в соответствии с заданием на проектирование);

$q_{\text{пож}}$, $q'_{\text{пож}}$ – расход воды на один пожар соответственно в населенном пункте и на промышленном предприятии, л/с.

По показателям качества воды (мутность, цветность) и по производительности станции, в соответствии с таблицей А.2 [2] или по Приложению 1 в качестве основных технологических сооружений приняты горизонтальные отстойники и скорые фильтры. Для осуществления осветления и обесцвечивания воды коагулированием предусматривается реагентное хозяйство, смесители, камеры хлопьеобразования зашламленного типа (со слоем взвешенного осадка), встроенные в горизонтальные отстойники.

Для выбранной технологии составляется высотная схема, представленная на рис. 2.1.

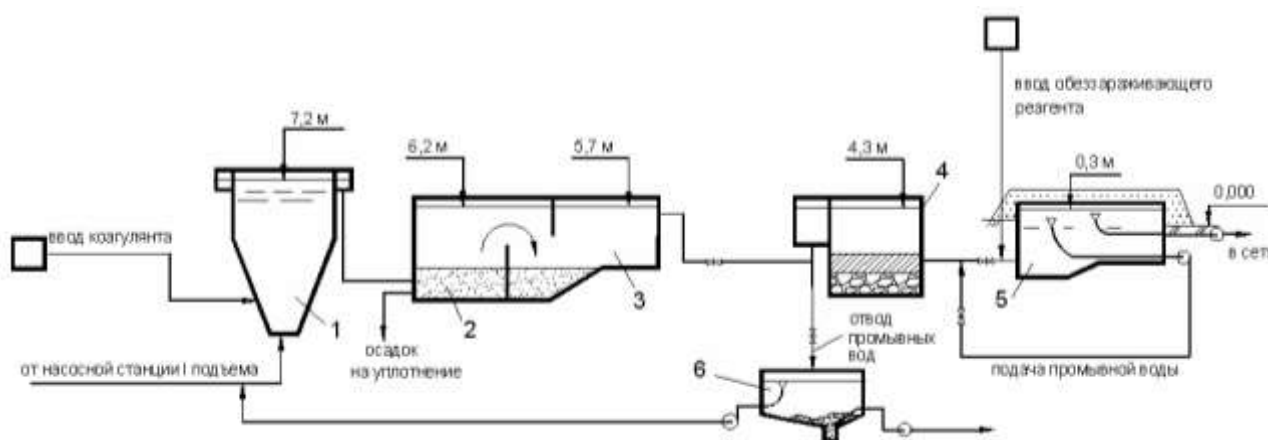


Рис. 2.1. Высотное расположение технологических сооружений

1 – смеситель; 2 – камера хлопьеобразования зашламленного типа (со взвешенным осадком); 3 – горизонтальный отстойник; 4 – скорый безнапорный осветлительный фильтр; 5 – РЧВ; 6 – отстойник для промывных вод

Расчет сооружений реагентного хозяйства

Выбор реагентов следует осуществлять на основании данных инженерных изысканий, принятой технологии водоподготовки и требований к воде потребителей при наибольшей цветности и мутности для максимального расхода воды, соответствующего этому периоду.

Расчетные дозы коагулянта, флокулянта и подщелачивающих реагентов следует принимать в соответствии с п. 9.3 [1]. Дозы реагентов-окислителей и последовательность введения их в воду устанавливаются на основании инженерных изысканий. Основные характеристики наиболее распространенных реагентов, применяемых в водоподготовке, приведены в таблице Б.1 (Приложение Б) [2] и в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Основные характеристики реагентов

Наименование продукта	Химическая формула основного вещества	Агрегатное состояние товарного продукта Плотность (насыпная)	Хранение и дозирование	Типичное содержание действующего вещества в товарном

		плотность)		продукте
Сульфат алюминия ГОСТ 12966	$Al_2(SO_4)_3 \cdot n H_2O$	Гранулы, порошок, Насыпная плотность от 1050 до 1100 кг/м ³	Емкость для сыпучих материалов; ёмкость со шнековым питателем ; кислотостойкий насос;	От 15 % до 16% в пересчете на Al_2O_3
Хлорид алюминия	$AlCl_3$	раствор, 1300 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос;	Al^{3+} - от 58 до 60г/кг
Смесь хлоридов алюминия и железа (III),	$AlCl_3 + FeCl_3$	раствор, 1150 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос;	Al^{3+} - 19 г/кг Fe^{3+} -10 г/кг
Сульфат алюминия и железа (III)	$[Al_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3] \cdot n H_2O$	гранулы, Насыпная плотность 950 кг/м ³	Емкость для сыпучих материалов; шнек и кислотостойкий эксцентриковый насос;	Al^{3+} - 82 г/кг Fe^{3+} -10 г/кг
Хлорид железа (II)	$FeCl_2$	раствор, от 1240 до 1370 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос;	Fe^{3+} от 86 до 135 г/кг
Хлорид железа (III), ГОСТ 4147	$FeCl_3$	раствор, от 1410 до 1430 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос;	Fe^{3+} - от 135 до 138 г/кг
Хлорид сульфат железа (III)	$FeClSO_4$	раствор, от 1430 до 1520 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос	Fe^{3+} - 123 г/кг
Купорос железный технический (сульфат железа (II)),ГОСТ 6981	$FeSO_4 \cdot 7 H_2O$	гигроскопичные гранулы, порошок; Насыпная плотность 1000 кг/м ³	Емкость для хранения гигроскопичных веществ; кислотостойкий насос	Fe^{2+} от 178 до 195 г/кг
Сульфат железа (III)	$Fe_2(SO_4)_3$	раствор, 1500 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос	Fe^{3+} 118 г/кг
Известь	$Ca(OH)_2$	порошок, Насыпная плотность 450кг/м ³	Емкость для сыпучих материалов; шнек	Ca^{2+} 376 г/кг
Известковое молоко (20%)	$Ca(OH)_2$	суспензия, 1150 кг/м ³	Емкость; эксцентриковый насос	Ca^{2+} 75 г/кг
Алюминат натрия	$NaAl(OH)_4$	раствор, от 1300 до 1500 кг/м ³	Емкость; насос	Al^{3+} - от 62 до 105 г/кг
Полиалюминат гидроксид	$Al_x(OH)_y Cl_z(SO_4)_k$	раствор, 1400 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий	Al^{3+} - от 52 до 90 г/кг

хлорид сульфат			насос	
Полиакриламид технический	Сополимер амида и солей акриловой кислоты (CH ₂ -CH(CONH ₂)) -п	Гелеобразная вязкая масса от светло-желтого до светло-коричневого цвета. 1030 кг/м ³	Емкость; насос-дозатор	От 5% до 6%
Стекло натриево жидкое (метасиликат натрия технический) (ГОСТ 13078)	Na ₂ SiO ₃	раствор; от 1360 до 1500 кг/м ³	Емкость; химический насос	От 24,8 до 36,7 % по SiO ₂
Уголь активный марки АГ-3, (ГОСТ 20464); Уголь активный древесный дробленый (ГОСТ 6217)		Порошок, гранулы; Насыпная плотность от 400 до 550 кг/м ³	Мешки, контейнеры; насос, стойкий к абразивному воздействию угля	
Сода кальцинированная техническая (углекислый натрий), ГОСТ 5100	Na ₂ CO ₃	Порошок, гранулы; Насыпная плотность от 900 до 1100 кг/м ³	Мешки, контейнеры	От 98,5 % до 99,4 %
Оксихлорид алюминия («Аурат»)	[Al ₂ (OH) ₅ Cl] · 6H ₂ O	раствор; 1100 кг/м ³	Емкость; кислотостойкий насос	20 % по Al ₂ O ₃

Для предварительных расчётов доза коагулянта D_k , мг/л, определяется: при обработке для снижения мутности воды – по таблице 2.3, при обработке для снижения цветности воды – по формуле (2.1), в соответствии с п. 9.3.2 [1].

1) по цветности воды:

$$D_k = 4\sqrt{C} = 4\sqrt{160} = 50,6 \text{ мг/л (2.1)}$$

2) по мутности исходной воды (по табл. 2.3): $D_k = 30 \text{ мг/л}$

При одновременном содержании в воде взвешенных веществ и наличии цветности принимается большее из значений доз коагулянта, указанных в таблице 2.3 и определённых по формуле (2.1).

За расчетное принято большее значение: $D_k = 50,6 \text{ мг/л}$

Таблица 2.3. Определение дозы безводного коагулянта

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/л
До 100 включ.	25-30
свыше 100 до 200 включ.	30-40

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/л
” 200 до 400 ”	35-45
” 400 до 600 ”	45-50
” 600 до 800 ”	50-60
” 800 до 1000 ”	60-70
” 1000 до 1500 ”	70-80

Дозу флокулянтов (в дополнение к дозам коагулянтов) следует принимать на основании результатов инженерных изысканий. При использовании анионного полиакриламида (ПАА) его дозу для ориентировочных расчетов следует принимать с учётом рекомендаций п.9.3.3 [1]:

– от 0,2 до 1,5 мг/л при вводе ПАА перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком;

– от 0,05 до 0,1 мг/л при вводе перед фильтрами в схемах с отстаиванием (осветление в слое взвешенного осадка) и фильтрованием;

– от 0,2 до 0,6 мг/л при вводе перед фильтрами в схемах с одноступенчатым фильтрованием;

В качестве флокулянта принят полиакриламид (ПАА), $D_{\text{ПАА}} = 0,4$ мг/л.

Для ориентировочных расчётов дозу флокулянтов определяют на основании результатов технологических исследований по табл. 2.4.

Таблица 2.4. Определение дозы ПАА

Мутность исходной воды, мг/л	Цветность исходной воды, град	Доза безводного ПАА, мг/л
До 10	Св. 50	1-1,5
От 10 до 100	30-100	0,3-0,6
От 100 до 500	20-60	0,2-0,5
От 500 до 1500	–	0,2-1

Введение подщелачивающих реагентов в воду связано с тем, что при недостаточной щелочности воды процесс хлопьеобразования идет неудовлетворительно. Дозы подщелачивающих реагентов, необходимых для улучшения процессов хлопьеобразования, определяют с учётом рекомендаций п. 9.3.5 [1].

В качестве подщелачивающего реагента принята гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Доза подщелачивающего реагента определяется по формуле п. 6.1.1[2] :

$$D_{\text{щ}} = K_{\text{щ}} \left(\frac{1}{e_{\text{к}}} \cdot D_{\text{к}} - \text{Щ}_0 + 1 \right) = 28 \cdot \left(\frac{50,6}{57} - 0,85 + 1 \right) = 29,1 \text{ мг / л (2.2)}$$

где: Щ_0 – минимальная щелочность исходной воды, ммоль/л; мг-экв/л, определяется как разность общей ($\text{Ж}_{\text{общ}}$) и некарбонатной ($\text{Ж}_{\text{нк}}$) жёсткости , т. е.

$$\text{Щ}_0 = \text{Ж}_{\text{к}} = \text{Ж}_{\text{общ}} - \text{Ж}_{\text{нк}};$$

$D_{\text{щ}}$ – доза подщелачивающего реагента, мг/л;

D_k – максимальная доза безводного коагулянта, мг/л;
 e_k – эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг/мг-экв (мг/моль),
 принимаемая для $Al_2(SO_4)_3$ – 57, $FeCl_3$ – 54, $Fe_2(SO_4)_3$ – 67;
 $K_{щ}$ – коэффициент, принимаемый для извести равным 28 (в пересчёте на CaO), для соды (по Na_2CO_3) – 53.

Если $D_{щ} < 0$, то подщелачивание воды не требуется.

Приготовление и дозирование раствора коагулянта

Согласно п. 6.2.1[2] хранение коагулянта может производиться в «сухом» или «мокроем» виде. Проектирование и определение объемов растворных баков $W_{раств}$, м³, расходных баков $W_{расх}$, м³, и комбинированных растворно-расходных баков следует производить по Приложению Б [2].

Принимается мокрое хранение коагулянта, технологическая схема которого представлена на рис. 2.2.

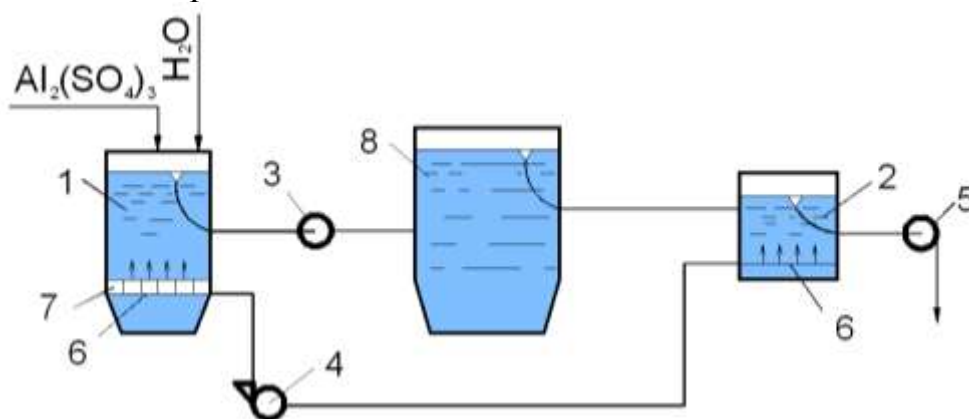


Рис. 2.2. Технологическая схема с «мокрым» хранением коагулянта

1 – растворный бак; 2 – расходный бак; 3 – насос перекачки коагулянта в бак-хранилище; 4 – воздуховодка; 5 – насос-дозатор; 6 – дырчатый трубопровод для подачи воздуха; 7 – колосниковая решетка; 8 – бак-хранилище

Объем растворного бака определяется по формуле п. Б.1.3 [2]:

$$W_p = \frac{Q_{\text{час}} \cdot n \cdot D_k}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma} = \frac{3262 \cdot 10 \cdot 50,6}{10000 \cdot 17 \cdot 1,0} = 9,7 \text{ м}^3 \quad (2.3)$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчётный расход воды (полная производительность водоочистой станции), м³/час;

D_k – расчётная доза коагулянта, г/м³;

b_p – концентрация раствора в растворном баке, %, следует принимать $b_p = 17-24\%$;

γ – плотность раствора коагулянта, т/м³, см. табл. 2.2;

n – продолжительность использования раствора коагулянта, ч.

Количество растворных баков должно быть не менее трех.

Размеры прямоугольных емкостных сооружений в плане рекомендуется принимать кратными 3 м, а по высоте – кратными 0,6 м.

Приняты 3 бака емкостью по 3,2 м³ каждый ($9,7:3=3,2$).

При высоте слоя раствора 1,2 м высота бака принята 1,4 м. Площадь бака составит $3,2:1,4 = 2,3 \text{ м}^2$. Размеры бака принимаем 1,52 м x 1,52 м x 1,4 м.

После растворения в растворном баке раствор коагулянта перекачивается кислотостойкими насосами в баки-хранилища, а в растворные баки загружается новая партия коагулянта. Из баков-хранилищ раствор коагулянта концентрацией 15-20 % насосами или самотеком подается в расходные баки, где готовится рабочая концентрация раствора, подаваемого затем насосами-дозаторами в смеситель (см. рис. 2.2).

Объем расходных баков определяется по формуле п. Б.3.2 [2]:

$$W = \frac{W_p \cdot b_p}{b} = \frac{9,7 \cdot 17}{6} = 27,48 \approx 28 \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

где b – концентрация раствора в расходном баке, %, следует принимать $b = 6-12\%$.

Количество расходных баков должно быть не менее двух согласно Б.4.2. [2]. Принято 2 бака емкостью по $14,0 \text{ м}^3$ каждый. При высоте слоя раствора 1,2 м высота бака принята 1,4 м. Площадь бака составит $14:1,4 = 10,0 \text{ м}^2$. Размеры бака принимаем 3,2 м x 3,2 м x 1,4 м.

Вместимость баков-хранилищ и их количество необходимо определять в зависимости от расхода реагента и срока его хранения в следующей последовательности:

Расход товарного продукта (коагулянта) P , т, для одного затворения определяется по формуле п.6.2.3 [2]:

$$P = \frac{Q_{\text{полнс}} \cdot D_k \cdot 100 \cdot T}{1000 \cdot 1000 \cdot c} = \frac{78280 \cdot 50,6 \cdot 100 \cdot 15}{1000 \cdot 1000 \cdot 16} = 371 \text{ т} \quad (2.5)$$

где: c – содержание безводной активной части в товарном продукте коагулянта, %, для сульфата алюминия – от 15 % до 16% в пересчете на Al_2O_3 ;

T – срок хранения реагента, сут, принимаемый с учетом производительности станции и условий поставки, от 15 до 30 сут.

Объем концентрированного раствора, получаемого при растворении расчетного количества коагулянта:

$$W = \frac{P \cdot 100}{b_{\text{бхр}} \cdot \gamma} = \frac{371 \cdot 100}{17 \cdot 1,2} = 1819 \text{ м}^3 \quad (2.6)$$

где: $b_{\text{бхр}}$ – концентрация раствора в баках-хранилищах по товарному продукту, %, $b_{\text{бхр}} = 15-20 \%$

γ – плотность раствора коагулянта концентрацией $b_{\text{бхр}}$, $\gamma = 1,2 \text{ т/м}^3$.

Количество баков-хранилищ N , шт., рекомендуется принимать не менее четырех согласно п. 6.2.4. [2]. Принято 14 баков-хранилищ, объем одного бака-хранилища:

$$W_1 = \frac{W}{N} = \frac{1819}{14} = 129,9 \text{ м}^3 \quad (2.7)$$

При высоте слоя раствора 2,2 м высота бака принята 2,4 м. Площадь одного бака составит $129,9 : 2,4 = 54,1 \text{ м}^2$. Размеры баков-хранилищ назначаются конструктивно и составят $7,4 \text{ м} \times 7,4 \text{ м} \times 2,4 \text{ м} = 131,4 \text{ м}^3$.

Суммарный расход воздуха, подаваемого в растворные и расходные баки:

$$Q_{\text{в}} = \omega_1 \cdot F_1 + \omega_2 \cdot F_2 = 8,0 \cdot 2,3 + 3,0 \cdot 10 = 48,4 \text{ л/с} = 2,9 \text{ м}^3/\text{мин} \quad (2.8)$$

где: ω_1, ω_2 – интенсивности подачи воздуха в растворные и расходные баки, принимаемые 8–10 и 3–5 л/с·м² соответственно п. 6.2.5. [2];

F_1, F_2 – площади в плане растворных и расходных баков, м².

По суммарному расходу воздуха $Q_{\text{в}}, \text{м}^3/\text{мин}$, по Приложению 3 подобрана воздуходувка ВК-3, предусмотрена еще одна резервная.

Дозирование коагулянта производится насосами-дозаторами типа ДП.

Производительность насоса-дозатора рассчитывается по формуле:

$$q_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot D_{\text{к}}}{100 \cdot c \cdot b \cdot \gamma} = \frac{3262 \cdot 50,6}{100 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 1} = 17,2 \text{ м}^3/\text{ч} = 17200 \text{ л/ч} \quad (2.10)$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход обрабатываемой воды, м³/ч;

c – содержание активного вещества реагента в товарном продукте, %, для сульфата алюминия – от 15 % до 16% в пересчете на Al_2O_3 ;

$D_{\text{к}}$ – расчётная доза реагента, мг/л;

b – концентрация раствора реагента в расходном баке, %, (6–12%);

γ – плотность раствора реагента, $\gamma = 1 \dots 1,1 \text{ т/м}^3$, (см. табл. 2.2).

По Приложению 4 подобраны 7 насосов-дозаторов марки ДП 2500/10 и еще два резервных.

Приготовление и дозирование раствора флокулянта

Приготовление раствора флокулянта согласно п. 6.3.1[2] следует производить в комплектных станциях заводского изготовления или в баках с механическим перемешиванием.

Полиакриламид (ПАА) следует применять в виде раствора с концентрацией от 0,1% до 1%. Согласно п. 9.3.16[1], продолжительность приготовления раствора из ПАА-геля – от 25 до 40 мин, из сухого ПАА – 2 ч.

Схема приготовления раствора ПАА представлена на рис.2.3.

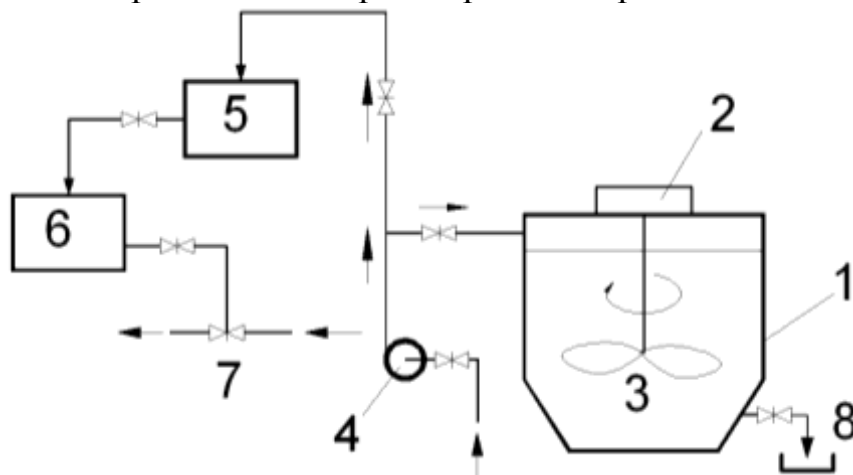


Рис. 2.3. Схема приготовления и дозирования раствора полиакриламида (ПАА)

1 – растворный бак; 2 – двигатель с приводом для мешалки; 3 – механическая мешалка; 4 – циркуляционный насос; 5 – расходный бак; 6 – дозатор; 7 – эжектор для разбавления и транспортирования раствора ПАА

По таблице 2.4. подобрана доза полиакриламида $D_{\text{ПАА}} = 0,4 \text{ мг/л}$.

Производительность мешалки для приготовления раствора флокулянта определяется по формуле:

$$q_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{ПАА}}}{24 \cdot 1000} = \frac{78280 \cdot 0,4}{24 \cdot 1000} = 1,3 \text{ кг/ч} \quad (2.11)$$

где: $Q_{\text{полнс}}$ – производительность очистной станции, $\text{м}^3/\text{сут}$;
 $D_{\text{ПАА}}$ – доза ПАА, мг/л .

Вместимость мешалки определяется по формуле:

$$W = \frac{q_{\text{м}} \cdot 100}{b \cdot \gamma \cdot 1000} = \frac{1,3 \cdot 100}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1000} = 0,13 \text{ м}^3 \quad (2.12)$$

где: b – концентрация раствора ПАА, принимается 0,1–1%;
 γ – плотность раствора ПАА, $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$.

По Приложению 5 подобран аппарат с перемешивающим устройством с плоским днищем и лопастной мешалкой вместимостью $2,5 \text{ м}^3$. Флокулянт периодически циркуляционным насосом перекачивается в расходный бак.

Объем расходных баков флокулянта определяется по формуле:

$$W_{\text{р.б.}} = W \cdot t = 0,13 \cdot 24 \cdot 4 = 12,48 \text{ м}^3 \quad (2.13)$$

где: t – время хранения раствора ПАА (час): для растворов концентрацией 0,7-1% – не более 15 суток; для растворов концентрацией 0,4-0,6% – не более 7 суток; для растворов концентрацией 0,1-0,3% – не более 2 суток, согласно п. 9.3.16 [1].

Количество расходных баков должно быть не менее двух. Размеры в плане принимаются конструктивно. Объем одного бака составит $12,48:2=6,24 \text{ м}^3$. При высоте слоя раствора 1,2 м высота бака принимается 1,4 м. Площадь одного бака составит $6,24:1,4=4,46 \text{ м}^2$

Приняты два бака размером 1,8м x1,8м x1,4 м каждый. По табл.16 [7] подобран насос марки 2К-ба для перекачки флокулянта в расходный бак.

Производительность насоса-дозатора составит:

$$q_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot D_{\text{ПАА}}}{100 \cdot c \cdot b \cdot \gamma} = \frac{3262 \cdot 0,4}{100 \cdot 6,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0} = 2,175 \text{ м}^3/\text{ч} = 2175 \text{ л/ч} \quad (2.14)$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход обрабатываемой воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

c – содержание активного вещества флокулянта в товарном продукте, принимается 5-6% (см. табл. 2.2.);

$D_{\text{ПАА}}$ – расчётная доза флокулянта (ПАА), мг/л ;

b – концентрация раствора флокулянта в расходном баке, принимается в пределах 0,1–1%;

γ – плотность раствора флокулянта, $\gamma = 1,0 \text{ т/м}^3$ (см. табл. 2.2.).

По Приложению 4 подобран насос марки ДП 2500/10 (один рабочий, один резервный).

Расчет сооружений известкового хозяйства с использованием привозного известкового теста (рис. 2.4.)

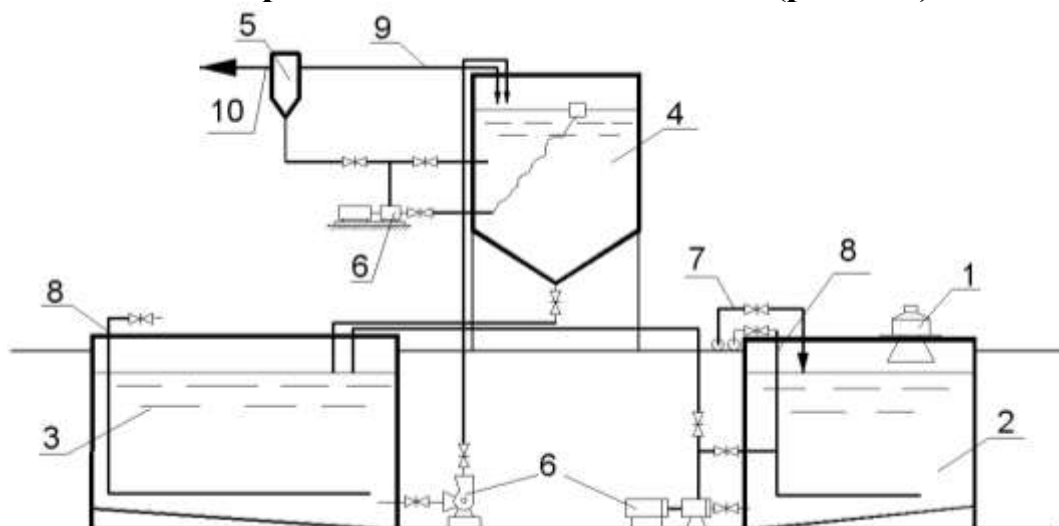


Рис. 2.4. Схема известкового хозяйства с использованием привозного известкового теста
 1 – контейнер для 50%-ного известкового теста; 2 – бак для приготовления 30%-ного известкового молока; 3 – бак-хранилище 30%-ного известкового молока; 4 – циркуляционная мешалка для 5%-ного известкового молока; 5 – дозатор; 6 – насосы; 7 – водопровод; 8 – воздухопровод от воздуходувки; 9 – перелив с дозатора; 10 – трубопровод для подачи отдозированного известкового молока

Объем растворного бака для приготовления 30%-го известкового молока составит:

$$W^{30\%} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot D_{\text{и}} \cdot n}{10000 \cdot b_{\text{и}} \cdot \gamma_{\text{и}}} = \frac{3262 \cdot 29,1 \cdot 10}{10000 \cdot 30 \cdot 1,0} = 3,2 \text{ м}^3 \quad (2.15)$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход воды, м³/час;

$D_{\text{и}}$ – доза извести, мг/л;

n – время, на которое заготавливается известковое молоко, принимается в пределах от 6 до 12ч;

$b_{\text{и}}$ – концентрация известкового молока, равная 30%;

$\gamma_{\text{и}}$ – плотность известкового молока, $\gamma_{\text{и}} = 1 \text{ т/м}^3$.

Количество растворных баков принимается не менее трёх, баки принимаются прямоугольные в плане.

Приняты 3 бака ёмкостью по 1,1 м³. При высоте слоя раствора 1,0 м высота бака принята 1,2 м. Площадь одного бака составит 1,1:1,2=0,92 м. Принимаются размеры одного бака 0,96 м х 0,96 м х 1,2 м.

Объем баков-хранилищ известкового молока составит:

$$W_{\text{б/х}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{и}} \cdot T}{10000 \cdot b_{\text{и}} \cdot \gamma} = \frac{78280 \cdot 29,1 \cdot 30}{10000 \cdot 30 \cdot 1,0} = 227,8 \text{ м}^3 \quad (2.16)$$

где: T – продолжительность хранения известкового молока, принимается в пределах от 15 до 30 суток.

Количество баков принимается не менее двух, баки принимаются прямоугольные в плане.

Приняты 2 бака-хранилища ёмкостью по 113,9 м³. При высоте слоя раствора 1,4 м высота бака принята 1,6 м. Площадь одного бака-хранилища составит 113,9:1,6=71,2 м². Принимаются размеры одного бака-хранилища 8,5мх8,5мх1,6м.

Объем расходных баков извести составит:

$$W^{5\%} = \frac{W_{30\%} \cdot b_u}{b_p} = \frac{3,2 \cdot 30}{5} = 19,2 \text{ м}^3 \quad (2.17)$$

где: b_p – концентрация рабочего раствора известкового молока, принимается равной 5%.

В качестве расходных баков приняты гидравлические мешалки. Количество мешалок – не менее двух. Технические характеристики мешалок принимаются по Приложениям 6, 7.

По Приложению 6 подобраны 5 мешалок для известкового молока М-4 рабочим объемом по 4 м³ каждая.

Количество воздуха, необходимое для перемешивания известкового молока в баках, определяется из условия интенсивности подачи $\omega = 8 - 10 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, согласно п.6.4.5[2]:

$$Q = \omega \cdot (F_1 \cdot n_1 + F_2 \cdot n_2) = 8 \cdot (71,2 \cdot 2 + 0,92 \cdot 3) = 1161,28 \text{ л}/\text{с} = 69,68 \text{ м}^3/\text{мин} \quad (2.18)$$

где: F_1, n_1 – соответственно площадь, м², и количество баков-хранилищ;

F_2, n_2 – соответственно площадь, м², и количество растворных баков.

По Приложению 3 подобраны 7 воздуходувок ВК-12 с подачей 10,4 м³/мин каждая, 2 резервных.

Для перекачки раствора известкового молока применяются центробежные насосы, песковые (Пс), фекальные (Ф). Производительность насоса для перемешивания известкового молока определяется из условий создания восходящей скорости известкового молока, равной 5 мм/с.

Для перекачки раствора известкового молока по табл. V.27 [3] подобраны насосы ФГ 14,5/10-б(2Ф-6), предусмотрен еще один резервный.

Подачу насосов для дозирования раствора извести определяют по формуле:

$$q_n = \frac{Q_{\text{час}} \cdot D_{\text{и}}}{100 \cdot c \cdot b \cdot \gamma} = \frac{3262 \cdot 29,1}{100 \cdot 60 \cdot 5 \cdot 1} = 3,2 \text{ м}^3/\text{ч} = 3200 \text{ л}/\text{ч} \quad (2.10)$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход обрабатываемой воды, м³/ч;

c – содержание активного вещества в товарном продукте извести, %, принимается равным 60%;

$D_{\text{и}}$ – расчётная доза извести, мг/л;

b – концентрация раствора извести в расходном баке, %, принимается равной 5%;

γ – плотность раствора извести, $\gamma = 1 \text{ т}/\text{м}^3$;

По Приложению 4 подобраны насосы-дозаторы ДП 1600/16 (2 рабочих, 1 резервный).

Пример № 2

Определить полную производительность водоочистной станции, разработать технологическую схему, выбрать состав водоочистных сооружений и рассчитать сооружения реагентного хозяйства.

Исходные данные:

Расход воды в сутки максимального водопотребления – 17703 м³/сут; расход воды на один пожар в населенном пункте – 25 л/с; число одновременных пожаров в населенном пункте – 1; расход воды на один пожар на промышленном предприятии – 20 л/с; число одновременных пожаров на промпредприятии – 1. Источник водоснабжения – река; показатели качества воды в источнике приведены в табл. 2.5.; назначение станции – питьевое водоснабжение, станция работает круглосуточно.

Таблица 2.5.

Показатели качества воды в источнике водоснабжения и требуемые по СанПиН 10-124 РБ «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Минздрав РБ, Минск, 1999)

№ п/п	Наименование показателей	Значение показателя в источнике	Норматив по СанПиН	Метод очистки
1	Концентрация взвешенных веществ (мутность), мг/л	320...420	1,5	осветление
2	Цветность, градус цветности	150	20	обесцвечивание
3	Жесткость общая, ммоль/л (мг-экв/л)	1,8	7,0	
4	Жесткость некарбонатная, ммоль/л (мг-экв/л)	1,2		
5	Щелочность, мг-экв/л	0,6	До 7	необходимость подщелачивания определяется при расчёте $D_{щ}$
6	Содержание железа, мг/л (мг/дм ³)	0,2	0,3	
7	Водородный показатель рН	7,1-7,4	6-9	
8	Запах и привкус, баллы	3	2	дезодорация
9	Перманганатная окисляемость, мг/л	8,5	5	
10	Фито- и зоопланктон (содержание клеток в 1	1200	До 1000	микрофильтрование

№ п/п	Наименование показателей	Значение показателя в источнике	Норматив по СанПиН	Метод очистки
	мл)			
11	Общее микробное число	80	Не более 50	обеззараживание

Анализ показателей качества воды в источнике водоснабжения свидетельствует о несоответствии значений ее мутности, цветности, общего микробного числа, содержания фито- и зоопланктона, запаха и привкуса показателям, требуемым СанПиН [5]. Очистка такой воды предполагает осветление и обесцвечивание ее коагулированием. Для интенсификации процесса коагуляции взвеси применяется флокулянт – полиакриламид. В качестве коагулянта принят сернокислый алюминий. Для выбора состава сооружений, в которых будут реализовываться данные методы, определяют полную производительность станции с учетом расхода воды на собственные нужды по формуле (1.1):

$$Q_{\text{полн.с}} = \alpha Q_{\text{сут}}^{\text{max}} + Q_{\text{доп}} = \alpha Q_{\text{сут}}^{\text{max}} + 3,6 \cdot t_{\text{пож}} (m q_{\text{пож}} + m' q'_{\text{пож}}) = \quad (1.1)$$

$$= 1,04 \cdot 17703 + 3,6 \cdot 3 \cdot (2 \cdot 25 + 1 \cdot 20) = 18720 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

где α – коэффициент учета расхода воды на собственные нужды станции ($\alpha=1,03..1,04$ – при повторном использовании промывной воды, $\alpha=1,1..1,14$ – без повторного использования);

$Q_{\text{сут}}^{\text{max}}$ – расход воды в сутки максимального водопотребления, м³/сут;

$t_{\text{пож}}$ – расчетная продолжительность пожара, ч, принимается равной 3 часа;

m и m' – число одновременных пожаров соответственно в населенном пункте и на промышленных предприятиях (принимается в соответствии с заданием на проектирование

$q_{\text{пож}}$, $q'_{\text{пож}}$ – расход воды на один пожар соответственно в населенном пункте и на промышленном предприятии, л/с.

Для осветления и обесцвечивания состав сооружений подбирается по Приложению 1 или табл. А.2 [2].

Для снижения интенсивности запаха и привкуса предусматривается дезодорация путем введения в воду активированного угля.

Для обеззараживания воды применяется метод озонирования.

Принимается следующий основной состав сооружений: осветлители со взвешенным осадком – скорые фильтры.

Расчет сооружений блока реагентного хозяйства

Определение расчетных доз реагентов.

Доза коагулянта согласно п. 9.3.2 [1] определяется:

1) по цветности воды:

$$D_k = 4\sqrt{C} = 4\sqrt{150} = 48,9 \text{ мг / л} \quad (2.1)$$

2) по мутности исходной воды по табл 2.3 $D_k = 45$ мг/л.

За расчетное принято бóльшее значение: $D_k = 48,9$ мг/л ≈ 49 мг/л.

Доза флокулянта подбирается с учётом рекомендаций п.9.3.3 [1].

В качестве флокулянта принят полиакриламид (ПАА). $D_{ПАА} = 0,5$ мг/л.

Доза извести для подщелачивания составит:

$$D_{щ} = K_{щ} \left(\frac{1}{e_k} \cdot D_k - Щ_0 + 1 \right) = 28 \cdot \left(\frac{49}{57} - 0,6 + 1 \right) = 35,2 \text{ мг/л} \quad (2.2)$$

где: $D_{щ}$ – доза подщелачивающего реагента, мг/л;

$Щ_0$ – минимальная щелочность исходной воды, ммоль/л; мг-экв/л, определяется как разность общей ($Ж_{общ}$) и некарбонатной ($Ж_{нк}$), т.е.

$$Щ_0 = Ж_k = Ж_{общ} - Ж_{нк};$$

D_k – максимальная доза безводного коагулянта, мг/л;

e_k – эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг/мг-экв, принимаемая для $Al_2(SO_4)_3$ – 57, $FeCl_3$ – 54, $Fe_2(SO_4)_3$ – 67;

$K_{щ}$ – коэффициент, принимаемый для извести (в пересчёте на CaO) – 28, для соды (по Na_2CO_3) – 53.

Если $D_{щ} < 0$, то подщелачивание воды не требуется.

Приготовление и дозирование раствора коагулянта

Принимается сухое хранение коагулянта, технологическая схема которого представлена на рис. 2.5.

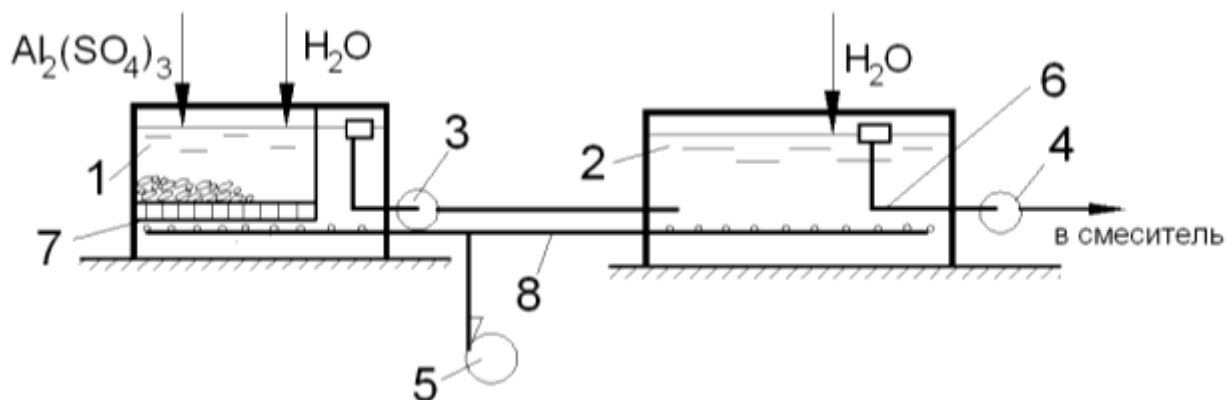


Рис. 2.5. Технологическая схема приготовления коагулянта при «сухом» хранении

1 – растворный бак; 2 – расходный бак; 3 – насос для перекачки раствора коагулянта; 4 – насос-дозатор; 5 – воздуходувка; 6 – поплавок с гофрированный шлангом для подачи раствора; 7 – колосниковая решетка; 8 – распределительная система подачи воздуха

Объём растворного бака определяется по формуле п. Б.1.3 [2]:

$$W_p = \frac{Q_{\text{час}} \cdot n \cdot D_k}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma} = \frac{780 \cdot 12 \cdot 49}{10000 \cdot 17 \cdot 1} = 2,7 \text{ м}^3 \quad (2.3)$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчётный расход воды, м³/час;

D_k – расчётная доза коагулянта, г/м³;

b_p – концентрация раствора в растворном баке, %, следует принимать $b_p = 17-24\%$;

γ – плотность раствора коагулянта, т/м³, см. табл. 2.2;

n – продолжительность использования раствора коагулянта, ч.

Количество растворных баков должно быть не менее трех. Размеры баков принимаются конструктивно.

Приняты 3 бака емкостью по $2,7:3=0,9$ м³ каждый. При высоте слоя раствора в баке 1,0 м принимаем высоту бака 1,2 м, площадь одного бака составит $0,9:1,2=0,75$ м². Принимаем баки размерами в плане 0,87 м×0,87 м и высотой 1,2 м.

Объём расходных баков определяется по формуле п. Б.3.2 [2]:

$$W = \frac{W_p \cdot b_p}{b} = \frac{2,7 \cdot 17}{10} = 4,6 \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

b – концентрация раствора в расходном баке, %, $b = 6-12\%$

Приняты 2 бака емкостью по 2,3 м³ каждый. При высоте слоя раствора в баке 1,2 м принимаем высоту бака 1,4 м, площадь одного бака составит $2,3:1,4=1,64$ м². Принимаем баки размерами в плане 1,28м×1,28м и высотой 1,4 м.

Для интенсификации процессов растворения коагулянта и перемешивания раствора предусматривается подача сжатого воздуха.

Суммарный расход воздуха, подаваемого в растворные и расходные баки:

$$Q_v = \omega_1 \cdot F_1 + \omega_2 \cdot F_2 = 8,0 \cdot 0,75 + 3 \cdot 1,64 = 10,92 \text{ л/с} = 0,6552 \text{ м}^3/\text{мин} \quad (2.8)$$

где: ω_1, ω_2 – интенсивности подачи воздуха в растворные и расходные баки, принимаемые 8-10 и 3-5 л/с·м² соответственно;

F_1, F_2 – площади в плане растворных и расходных баков, м².

По суммарному расходу воздуха $Q_v, \text{ м}^3/\text{мин}$, по Приложению 3 подобрана воздуходувка ВК-1,5, предусмотрена еще одна резервная.

Дозирование коагулянта производится насосами-дозаторами.

Производительность насоса-дозатора составит:

$$q_n = \frac{Q_{\text{час}} \cdot D_k}{100 \cdot c \cdot b \cdot \gamma} = \frac{780 \cdot 49}{100 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 1} = 3,98 \text{ м}^3/\text{ч} = 3980 \text{ л/ч} \quad (2.10)$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход обрабатываемой воды, м³/ч;

c – содержание активного вещества реагента в товарном продукте, %, для сульфата алюминия – от 15 % до 16% в пересчете на Al₂O₃;

D_k – расчётная доза коагулянта, мг/л;

b – концентрация раствора реагента в расходном баке, %, (6-12%);

γ – плотность раствора реагента, $\gamma = 1...1,1$ т/м³. По Приложению 4 подобраны 4 насоса ДП 1000/25, предусмотрены еще два резервных.

Приготовление и дозирование раствора флокулянта

По табл. 2.4. подобрана доза флокулянта $D_{\text{ПАА}} = 0,5$ мг/л.

Производительность мешалки для приготовления раствора флокулянта определяется по формуле:

$$q_m = \frac{Q_{\text{полнс}} \cdot D_{\text{ПАА}}}{24 \cdot 1000} = \frac{18720 \cdot 0,5}{24 \cdot 1000} = 0,4 \text{ кг/ч} \quad (2.11)$$

где: $Q_{\text{полнс}}$ – производительность очистной станции, м³/сут;

$D_{\text{ПАА}}$ – доза ПАА, мг/л.

Вместимость мешалки определяется по формуле:

$$W = \frac{q_m \cdot 100}{b \cdot \gamma \cdot 1000} = \frac{0,4 \cdot 100}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1000} = 0,04 \text{ м}^3 \quad (2.12)$$

где: b – концентрация раствора ПАА, принимается 0,1-1%;

γ – плотность раствора ПАА, $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$.

По Приложению 5 подобран аппарат с перемешивающим устройством с плоским днищем и лопастной мешалкой вместимостью 2,5 м³.

Объем расходных баков флокулянта определяется по формуле:

$$W_{\text{р.б.}} = W \cdot t = 0,04 \cdot 24 \cdot 8 = 7,68 \text{ м}^3. \quad (2.13)$$

где: t – время хранения раствора ПАА (час): для растворов концентрацией 0,7-1% – не более 15 суток; для растворов концентрацией 0,4-0,6% – не более 7 суток; для растворов концентрацией 0,1-0,3% – не более 2 суток, согласно п. 9.3.16 [1].

Количество расходных баков должно быть не менее двух. Объём одного бака $7,68:2=3,84 \text{ м}^3$. При высоте слоя раствора в баке 1,2 м принимаем высоту бака 1,4 м. Площадь одного бака составит $3,84:1,4=2,74 \text{ м}$. Размеры бака в плане принимаются 1,66 м x 1,66 м.

Приняты два бака размером 1,66 м x 1,66 м x 1,4 м каждый.

По табл. 16 [7] подобран насос марки 2К-6а для гидравлического перемешивания и перекачки флокулянта в расходный бак.

Производительность насоса-дозатора:

$$q_n = \frac{Q_{\text{час}} \cdot D_{\text{ф}}}{100 \cdot c \cdot b \cdot \gamma} = \frac{780 \cdot 0,5}{100 \cdot 6,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0} = 0,65 \text{ м}^3 / \text{час} = 650 \text{ л/ч}$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход обрабатываемой воды, м³/ч;

c – содержание активного вещества флокулянта в товарном продукте, принимается 5–6% (см. табл. 2.2.);

$D_{\text{ф}}$ – расчётная доза флокулянта, мг/л;

b – концентрация раствора реагента в расходном баке, принимается в пределах 0,1-1%;

γ – плотность раствора флокулянта, $\gamma = 1,0 \text{ т/м}^3$ (см. табл. 2.2).

По Приложению 4 подобран насос ДП 1000/25 (один рабочий, один резервный).

Расчет сооружений известкового хозяйства с использованием комовой извести при сухом хранении (рис. 2.6.)

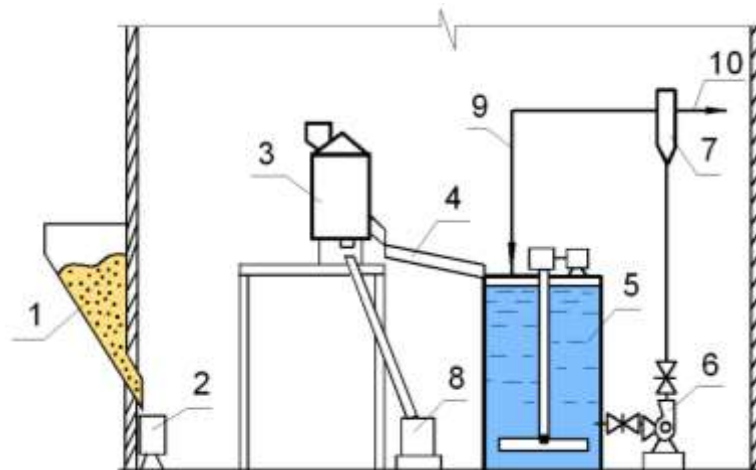


Рис. 2.6. Схема известкового хозяйства с использованием комовой извести при сухом хранении

1 – бункер; 2 – контейнер; 3 – известегасилка; 4 – сливной желоб; 5 – расходный бак известкового молока; 6 – насос; 7 – дозатор; 8 – контейнер для сброса отходов; 9 – перелив с дозатора; 10 – трубопровод для подачи отдозированного известкового молока в смеситель

Суточный расход извести (в пересчете на CaO) определяется по формуле:

$$G_{\text{сут}}^{\text{CaO}} = \frac{Q_{\text{полн.с}} \cdot D_{\text{и}}}{1000 \cdot 1000} = \frac{18720 \cdot 35,2}{1000 \cdot 1000} = 0,66 \text{ т/сут} \quad (2.19)$$

где: $Q_{\text{полн.с}}$ – расчетный расход обрабатываемой воды, м³/сут.

Суточный расход товарной извести на подщелачивание:

$$G_{\text{сут}}^{78\%} = \frac{G_{\text{сут}}^{\text{CaO}} \cdot 100}{b_{\text{м}}} = \frac{0,66 \cdot 100}{78} = 0,85 \text{ т/сут} \quad (2.20)$$

где: $b_{\text{м}}$ – содержание извести в товарном продукте, принимается для комовой извести 78%.

Для гашения и измельчения извести по [3] подобрана известегасилка С322 производительностью 1 т/ч.

Объем расходных баков определяется по формуле:

$$W^{5\%} = \frac{G_{\text{сут}}^{78\%} \cdot n \cdot 100}{24 \cdot b_{\text{р}} \cdot \gamma} = \frac{0,85 \cdot 6 \cdot 100}{24 \cdot 5 \cdot 1} = 4,25 \text{ м}^3 \quad (2.21)$$

где: n – время, на которое заготавливают известковое молоко, принимается от 6 до 12 ч;

γ – плотность раствора извести, 1 т/м³;

$b_{\text{р}}$ – концентрация рабочего раствора известкового молока, 5%.

В качестве расходных баков применяются мутилки (лопастные мешалки) либо гидравлические мешалки (Приложения 6,7).. Количество мешалок принимается не менее двух.

Устанавливаются 2 гидравлические мешалки рабочим объемом 4 м³ каждая, диаметром 1,6 м (Приложение 6). Для перекачки раствора извести на каждую мешалку установлен насос ФГ14,5/10-б (2Ф-6) (табл. V.27.[3]).

Производительность насосов для дозирования раствора извести определяется по формуле

$$q_n = \frac{Q_{\text{час}} \cdot D_{\text{и}}}{100 \cdot c \cdot b \cdot \gamma} = \frac{780 \cdot 35,2}{100 \cdot 60 \cdot 5 \cdot 1} = 0,92 \text{ м}^3/\text{ч} = 920 \text{ л/ч} \quad (2.10)$$

где: $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход обрабатываемой воды, м³/ч;

c – содержание активного вещества в товарном продукте извести, %, принимается равным 60%;

$D_{\text{и}}$ – расчётная доза извести, мг/л;

b – концентрация раствора извести в расходном баке, принимается равной 5%;

γ – плотность раствора извести, $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$;

По Приложению 4 подобраны насосы-дозаторы ДП 1000/25 (1 рабочий, 1 резервный).

Практическая работа №3

Проектирование и расчет смесителей и камер хлопьеобразования

#Практический раздел

3.1 Смесительные устройства

В соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (п.п. 9.3.26, 9.3.30), смесительные устройства должны обеспечивать последовательный, с необходимым интервалом во времени ввод реагентов с учетом продолжительности пребывания воды в трубопроводах или каналах между устройствами ввода реагентов. Количество смесителей (секций) следует принимать не менее двух, оба рабочие, с возможностью отключения их в периоды интенсивного хлопьеобразования.

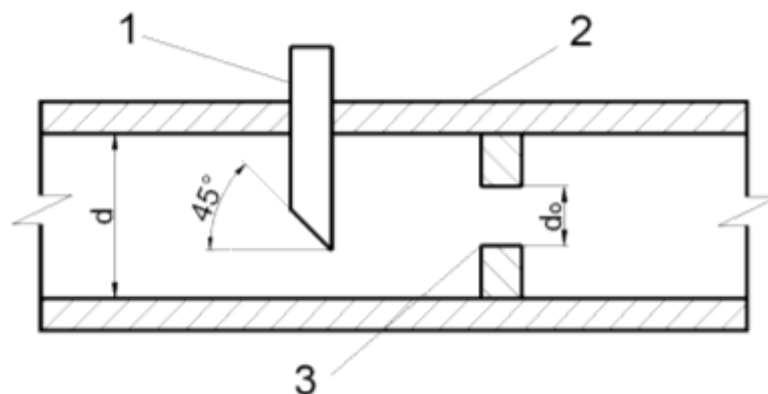
3.1.1 Смешение растворов реагентов в трубопроводе (шайбовый смеситель)

Шайбовые смесители могут применяться на станциях водоподготовки любой производительности. Шайбовый смеситель (рис. 3.1.) выполняется как сужение на трубопроводе в виде диафрагмы или трубы Вентури с подачей раствора коагулянта в область пониженного давления за сужением. Длина участка, на котором происходит смешение при использовании шайбовых смесителей, должна быть не менее 50 диаметров трубопровода (раздел 7.2 [2]).

Для обеспечения достаточно надежного смешения воды с реагентами соотношение диаметров проходного отверстия диафрагмы и трубопровода должно приниматься таким, чтобы потеря напора в диафрагме была в пределах 0,2-0,3 м. Отдозированный реагент вводится в трубопровод перед диафрагмой.

Трубка, подводящая раствор реагента в напорный трубопровод, должна доходить до его середины, а ее конец должен быть срезан под

углом 45°. Трубку изготавливают из пластмассы или стекла и укрепляют в напорном трубопроводе при помощи сальника.



1 – трубопровод; 2 – трубка для ввода реагента; 3 – шайба.

Рис. 3.1. Шайбовый смеситель

Пример № 3

Расход воды, поступающей от насосов I подъема к смесителю – 217 л/с. Рекомендуемая скорость движения воды в напорном водоводе – от 1,2 до 1,5 м/с, согласно п.7.2.2 [2].

По таблицам [12] при заданном расходе определены диаметр напорной трубы $d = 500$ мм и скорость $v = 1,12$ м/с.

Площадь живого сечения трубы составит:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ м}^2$$

Таблица 3.1.

ω_o/ω	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ϵ	0,613	0,618	0,623	0,631	0,642	0,656	0,677	0,713	0,785

По таблице 3.1. соотношение площадей живого сечения трубы и отверстия шайбы принимается $\omega_o/\omega = 0,5$, при этом коэффициент сжатия струи – $\epsilon = 0,642$.

Диаметр отверстия шайбы:

$$d_o = d \cdot \sqrt{\omega_o/\omega} = 500 \cdot \sqrt{0,5} \approx 350 \text{ мм} \quad (3.1)$$

Площадь живого сечения отверстия шайбы составит:

$$\omega_o = \frac{\pi d_o^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,35^2}{4} = 0,0962 \text{ м}^2$$

Потеря напора в шайбе может быть определена по формуле:

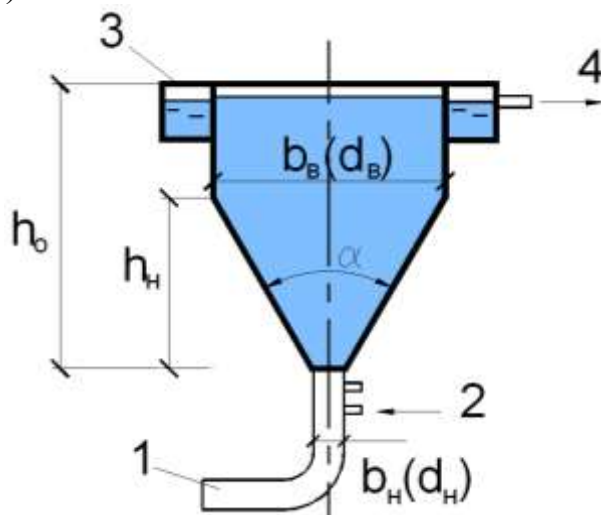
$$h_{ш} = (\omega/(\omega_o \epsilon) - 1)^2 \cdot \frac{v^2}{2g} = \left(\frac{0,196}{0,0962 \cdot 0,642} - 1 \right)^2 \cdot \frac{1,12^2}{2 \cdot 9,8} = 0,26971, \text{ м} \quad (3.2)$$

Расчет окончен, так как определенная потеря напора в шайбе находится в пределах 0,2-0,3 м.

3.1.2 Расчёт и проектирование вертикального (вихревого) смесителя

Расчёт и проектирование вертикального (вихревого) смесителя следует выполнять согласно п. 9.3.31 [1] и раздела 7.3[2].

Вихревой смеситель выполняется в виде цилиндрической или призматической емкости соответственно с конической или пирамидальной нижней частью. Центральный угол между наклонными стенками смесителя α должен составлять от 30° до 45° . Количество смесителей (секций) следует принимать не менее двух, оба рабочие в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (п. 9.3.30).



1 – трубопровод подачи исходной воды; подача реагентов; 3 – сборный лоток (желоб); 4 – отвод воды, смешанной с реагентами

Рис. 3.2. Вертикальный (вихревой) смеситель

Вихревые (вертикальные) смесители применяются при производительности одного смесителя от 1200 до 1500 м³/ч, а также для смешивания с обрабатываемой водой реагентов в виде суспензий, в том числе известкового молока, каустического магнезита.

Пример № 4

Рассчитать вертикальный (вихревой) смеситель. Производительность водопроводной очистной станции – 78280 м³/сут. Исходные данные приведены в примере № 1.

Часовой расход на станции равен 3262 м³/час.

Число смесителей согласно п. 9.3.30 [1] следует принимать не менее двух, оба рабочие, с возможностью их отключения в периоды интенсивного хлопьеобразования.

Резервные смесители принимать не следует, но необходимо предусматривать обводной трубопровод в обход смесителей с размещением в нем резервных устройств ввода реагентов.

Приняты три вертикальных смесителя с расходом воды в каждом из них $q = 3262 / 3 = 1087,3 \text{ м}^3 / \text{ч} = 302 \text{ л} / \text{с}$. Площадь горизонтального сечения верхней части смесителя определяется по формуле:

$$f_{\text{в}} = \frac{q}{v_{\text{в}}} = \frac{1087,3}{120} = 9 \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

где: q – расчетный расход воды, приходящийся на один смеситель, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 v_B – скорость восходящего движения воды под водосборным устройством, принимается в пределах 30-40 $\text{мм}/\text{с}$ (108-144 $\text{м}/\text{ч}$).

Для квадратного в плане смесителя длина его стороны составит:

$$b_e = \sqrt{f_e} = \sqrt{9} = 3 \text{ м} \quad (3.4)$$

Размер входного отверстия в смеситель принимается равным диаметру подводящего трубопровода d_H , м, который определяется, исходя из скорости входа воды в смеситель v_H , принимаемой от 1,2 до 1,5 $\text{м}/\text{с}$, согласно п. 7.3.2 [2].

Диаметр подводящего трубопровода определяется по формуле:

$$d_H = 2 \cdot \sqrt{\frac{q}{\pi \cdot v_H \cdot 3600}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1087,3}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 3600}} = 0,5 \text{ м} \quad (3.6)$$

где: v_H – скорость входа воды в нижнюю часть смесителя, $\text{м}/\text{с}$.

Диаметр подводящего трубопровода принимается $d_H = 500 \text{ мм}$.

Для квадратного в плане смесителя сторона нижнего основания b_H принимается равной диаметру подводящего трубопровода, т.е. $b_H = 0,5 \text{ м}$.

Площадь горизонтального сечения нижней пирамидальной части смесителя:

$$f_H = b_H \cdot b_H = 0,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

Высота нижней части смесителя h_H , м, определяется по формуле:

$$h_H = 0,5 \cdot (b_B - b_H) \cdot \text{ctg}(\alpha/2) = 0,5 \cdot (3 - 0,5) \cdot \text{ctg}(35^\circ/2) = 3,96 \text{ м} \quad (3.9)$$

Объем нижней части смесителя W_H , м^3 , определяется по формуле:

$$W_H = \frac{h_H}{3} (f_B + f_H + \sqrt{f_B \cdot f_H}) = \frac{3,96}{3} \cdot (9 + 0,25 + \sqrt{9 \cdot 0,25}) = 14,19 \text{ м}^3 \quad (3.10)$$

Полный объем смесителя:

$$W = \frac{q \cdot t}{60} = \frac{1087,3 \cdot 1,5}{60} = 27,18 \text{ м}^3 \quad (3.11)$$

где: t – продолжительность смешения реагента с водой, принимаемая в пределах от 1,5 до 2,0 мин, согласно п. 7.3.4 [2].

Объем верхней части смесителя W_B , м^3 , определяется по формуле:

$$W_B = W - W_H = 27,18 - 14,19 = 12,99 \text{ м}^3 \quad (3.12)$$

Высота верхней части смесителя h_B , м:

$$h_B = W_B / f_B = 12,99 / 9 = 1,44 \text{ м} \quad (3.13)$$

Общая высота смесителя h_o , м:

$$h_o = h_B + h_H = 1,44 + 3,96 = 5,73 \text{ м} \quad (3.14)$$

Отведение воды осуществляется из верхней части смесителя периферийным лотком через затопленные отверстия. Вода, протекающая по лотку в направлении бокового кармана, разделяется на два потока. Площадь живого сечения сборного лотка f_L , м^2 , определяется:

$$f_L = \frac{q}{v_L \cdot n \cdot 3600} = \frac{1087,3}{0,6 \cdot 2 \cdot 3600} = 1087,3 / 4320 = 0,25 \text{ м}^2 \quad (3.15)$$

где: $v_{л}$ – скорость движения воды в лотке, $v_{л} = 0,6$ м/с, согласно п.7.3.6 [2];

$n = 2$ – коэффициент, учитывающий сбор воды с двух сторон смесителя.

Суммарная площадь затопленных отверстий $F_{отв}$, м², в стенках сборного лотка:

$$F_o = \frac{q}{v_o \cdot 3600} = \frac{1087,3}{1,0 \cdot 3600} = 0,23 \text{ м}^2 \quad (3.16)$$

где: v_o – скорость движения воды через отверстия лотка, принимается 1 м/с.

Диаметр затопленных отверстий d_o , м, следует принимать в пределах от 20 до 100 мм, согласно п. 7.3.7 [2]. Принимается диаметр отверстия $d_o = 0,08$ м, площадь одного отверстия составит:

$$f_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} = 0,005024 \text{ м}^2$$

Общее количество отверстий:

$$n_o = F_o / f_o = 0,23 / 0,005024 = 46 \quad (3.17)$$

Ширину прямоугольного лотка $b_{л}$, м, следует принимать конструктивно с учетом размеров смесителя в плане, в пределах от 0,3 до 0,8 м. При принятой ширине лотка (желоба) $b_{л} = 0,4$ м, высота слоя воды в лотке (желобе):

$$h_{л} = \frac{f_{л}}{b_{л}} = \frac{0,25}{0,4} \approx 0,63 \text{ м} \quad (3.18)$$

Уклон дна лотка $i = 0,02$ в сторону сборного кармана.

Внутренний периметр лотка (желоба) $P_{л}$, м, для квадратного в плане смесителя:

$$P_{л} = 4 \cdot (b_{л} + 2\delta) = 4 \cdot (0,4 + 2 \cdot 0,1) = 1,2 \text{ м} \quad (3.20)$$

$\delta = 0,1$ м – толщина стенки лотка (желоба).

Шаг оси отверстий:

$$e_o = P_{л} / n_o = 1,2 / 46 = 0,26 \text{ м} \quad (3.19)$$

Расстояние между отверстиями:

$$l_o = e_o - d_o = 0,26 - 0,08 = 0,18 \text{ м} \quad (3.21)$$

Из сборного лотка воду следует направлять в боковой карман, размеры которого принимаются конструктивно таким образом, чтобы обеспечить размещение в его нижней части трубопровода, отводящего воду из смесителя. Согласно п. 9.3.34[1], скорость движения воды в трубопроводах или каналах от смесителей к камерам хлопьеобразования и осветлителям со слоем взвешенного осадка следует принимать убывающей от 1,0 до 0,6 м/с.

При расходе воды $q = 1087,3 \text{ м}^3/\text{ч} = 302 \text{ л/с}$ по табл. [12] принят диаметр трубопровода, отводящего воду от смесителя, равным 600 мм, скорость движения воды в нем 1,06 м/с. В соответствии с размерами трубопровода размеры бокового кармана смесителя составят $0,7 \times 1,0$ м, глубина – 1,0 м.

Пример № 5

Рассчитать вертикальный (вихревой) смеситель. Производительность водопроводной очистной станции – 18720 м³/сут. Исходные данные приведены в примере № 2.

Число смесителей (секций) согласно п. 9.3.30 [1] надлежит принимать не менее двух, оба рабочие, с возможностью отключения их в периоды интенсивного хлопьеобразования. Резервные смесители (секции) принимать не следует, но необходимо предусматривать обводной трубопровод в обход смесителей с размещением в нем резервных устройств ввода реагентов.[1]

Расход воды на один вертикальный смеситель должен составлять не более 1200-1500 м³/ч. Таким образом, устанавливаются 2 смесителя с расходом, приходящимся на каждый из них:

$$q = \frac{18720}{24 \cdot 2} = 390 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Площадь горизонтального сечения верхней части смесителя:

$$f_B = \frac{q}{v_B} = \frac{390}{108} = 3,6 \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

где: q – расчетный расход воды, приходящийся на один смеситель, м³/ч;
 v_B – скорость восходящего движения воды, принимается в пределах 30-40 мм/с (108-144 м/ч), согласно п. 9.3.31[1].

Для круглого в плане смесителя диаметр его верхней части:

$$d_B = 2 \cdot \sqrt{\frac{f_B}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{3,6}{3,14}} = 2,14 \text{ м} \quad (3.5)$$

Диаметр подводящего трубопровода:

$$d_H = 2 \cdot \sqrt{\frac{q}{\pi \cdot v_H \cdot 3600}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{390}{3,14 \cdot 1,33 \cdot 3600}} = 0,322 \text{ м} \quad (3.6)$$

где: v_H – скорость входа воды в нижнюю часть смесителя, м/с, принимается от 1,2 до 1,5 м/с, согласно п. 7.3.2 [2].

Диаметр подводящего трубопровода принимается $d_H = 350$ мм.

Площадь горизонтального сечения нижней конусной части смесителя:

$$f_H = \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,35^2}{4} = 0,1 \text{ м}^2 \quad (3.8)$$

Высота нижней части смесителя h_H , м, определяется по формуле (3.9):
 $h_H = 0,5 \cdot (d_B - d_H) \cdot \text{ctg}(\alpha/2) = 0,5 \cdot (2,14 - 0,35) \cdot \text{ctg}(30/2) = 0,5 \cdot 1,79 \cdot 3,73 = 3,33 \text{ м}$

Объем нижней части смесителя W_H , м³:

$$W_H = \frac{h_H}{3} (f_B + f_H + \sqrt{f_B \cdot f_H}) = \frac{3,33}{3} \cdot (3,6 + 0,1 + \sqrt{3,6 \cdot 0,1}) = 4,77 \text{ м}^3 \quad (3.10)$$

Полный объем смесителя:

$$W = \frac{q \cdot t}{60} = \frac{390 \cdot 1,5}{60} = 9,8 \text{ м}^3 \quad (3.11)$$

где: t – продолжительность смешения реагента с водой, принимаемая в пределах от 1,5 до 2,0 мин, согласно 7.3.4 [2].

Объем верхней части смесителя:

$$W_B = W - W_H = 9,8 - 4,77 = 4,98 \text{ м}^3 \quad (3.12)$$

Высота верхней части смесителя:

$$h_B = W_B / f_B = 4,98 / 3,6 = 1,4 \text{ м} \quad (3.13)$$

Общая высота смесителя h_o , м:

$$h_o = h_B + h_H = 1,4 + 3,33 = 4,7 \text{ м} \quad (3.14)$$

Площадь живого сечения сборного лотка $f_{л}$, м^2 , определяется:

$$f_{л} = \frac{q}{v_{л} \cdot n \cdot 3600} = \frac{390}{0,6 \cdot 2 \cdot 3600} = 0,09 \text{ м}^2 \quad (3.15)$$

где: $v_{л}$ – скорость движения воды в лотке, $v_{л} = 0,6 \text{ м/с}$;

$n = 2$ – коэффициент, учитывающий сбор воды с двух сторон смесителя.

Суммарная площадь затопленных отверстий F_o , м^2 , в стенках сборного лотка:

$$F_o = \frac{q}{v_o \cdot 3600} = \frac{390}{1 \cdot 3600} = 0,108 \text{ м}^2 \quad (3.16)$$

где: v_o – скорость движения воды через отверстия лотка, принимается 1 м/с, согласно п. 7.3.7[2].

Принимается диаметр одного отверстия $d_o = 0,08 \text{ м}$, площадь одного отверстия: $f_o = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} = 0,005024 \text{ м}^2$

Общее количество отверстий:

$$n_o = F_o / f_o = 0,108 / 0,005024 \approx 22 \quad (3.17)$$

При ширине лотка $b_{л} = 0,4 \text{ м}$, высота слоя воды в лотке составит:

$$h_{л} = \frac{f_{л}}{b_{л}} = \frac{0,09}{0,4} = 0,23 \text{ м} \quad (3.18)$$

Внутренний периметр лотка для круглого в плане смесителя согласно п. 7.3.8 [2] определяется по формуле:

$$P_{л} = 3,14 \cdot (d_B + 2\delta) = 3,14 \cdot (2,14 + 2 \cdot 0,1) = 7,35 \text{ м}$$

$\delta = 0,1 \text{ м}$ – толщина стенки желоба/

Шаг оси отверстий:

$$e_o = P_{л} / n_o = 7,35 / 22 = 0,33 \text{ м} = 330 \text{ мм} \quad (3.19)$$

Расстояние между отверстиями:

$$l_o = e_o - d_o = 0,33 - 0,08 = 0,25 \text{ м} \quad (3.21)$$

При расходе воды $390 \text{ м}^3/\text{ч} = 108,3 \text{ л/с}$ по табл. [12] принят диаметр трубопровода, отводящего воду от смесителя на дальнейшую обработку – 400 мм. Скорость в этом трубопроводе должна быть в пределах от 0,6 до 1,0 м/сек, а время пребывания в нём – не более 1,5 мин, согласно п. 9.3.34[1]. В данном случае при $d = 400 \text{ мм}$ $v = 0,86 \text{ м/с}$. В соответствии с размерами трубопровода,

размеры сборного бокового кармана смесителя приняты $0,5 \times 1,0$ м, глубина – 1,0 м.

3.2 Камеры хлопьеобразования

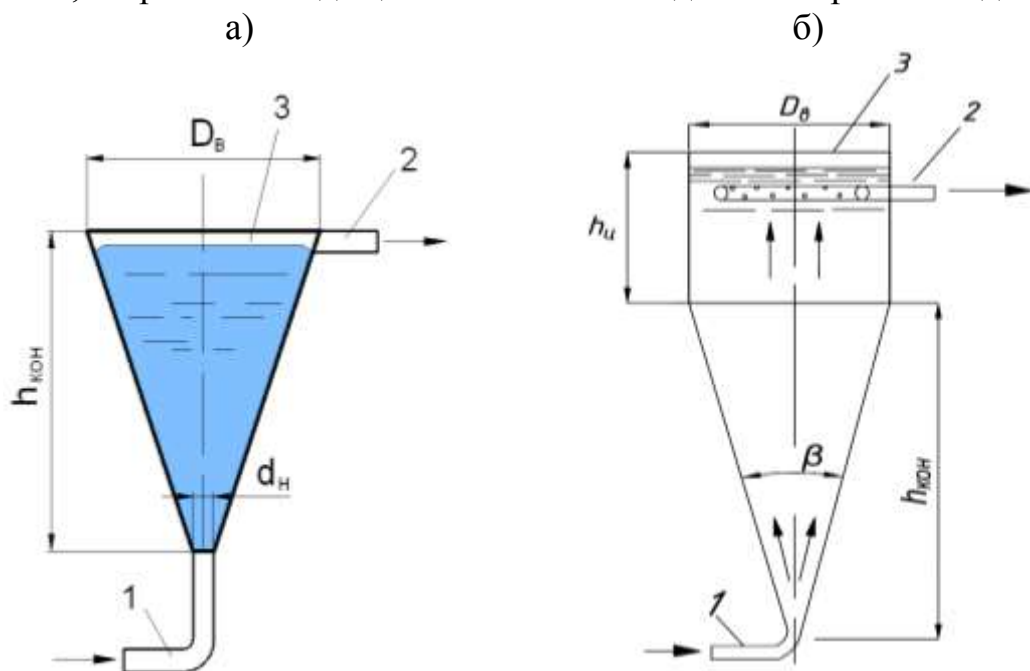
Камеры хлопьеобразования (КХО) служат для плавного перемешивания смеси обрабатываемой воды с растворами коагулянта и флокулянта и обеспечения более полной агломерации мелких хлопьев коагулянта в крупные. Тип камеры необходимо выбирать в зависимости от способа отделения взвешенных веществ на следующей стадии обработки. Согласно п. 9.3.36[1] в отстойниках следует предусматривать встроенные камеры хлопьеобразования гидравлического или механического типа.

В схеме с горизонтальными отстойниками следует устраивать перегородчатые, вихревые, встроенные со слоем взвешенного осадка и механические (лопастные) камеры хлопьеобразования; в схеме с вертикальными отстойниками – водоворотные.

Отвод воды из КХО в отстойники следует предусматривать при скорости движения воды в сборных лотках, трубах и отверстиях распределительных перегородок не более 0,1 м/с для мутных вод и 0,05 м/с – для цветных вод.

3.2.1 Вертикальная (вихревая) камера хлопьеобразования

Вихревые КХО (рис. 4.1.) следует проектировать с наклонными стенками с углом между стенками, принимаемым от 50° до 70° в зависимости от высоты камеры. Согласно п. 9.3.38 [1] скорость входа воды в камеру следует принимать от 0,7 до 1,2 м/с, скорость восходящего потока на выходе из камеры – от 4 до 5 мм/с.



1 – трубопровод подвода исходной воды; 2 – трубопровод отвода воды после камеры хлопьеобразования; 3 – кольцевой желоб

Рис. 4.1. Вихревая камера хлопьеобразования а) с конической нижней частью, б) с цилиндрической нижней частью

Объем КХО определяется по формуле:

$$W_{\text{КХО}} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot t}{60}, \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

где $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход воды в камере хлопьеобразования, м³/ч;

t – продолжительность пребывания воды в камере, принимается от 6 до 12 мин.

Площадь поперечного сечения верхней части камеры определяется по формуле:

$$f_b = Q_{\text{час}} / v_b, \text{ м}^2, \quad (4.2)$$

где v_b – скорость восходящего потока на выходе из камеры, м/ч, принимается от 4 до 5 мм/с.

Диаметр верхней части камеры определяется по формуле:

$$D_b = 2 \cdot \sqrt{\frac{f_b}{\pi}}, \text{ м} \quad (4.3)$$

Диаметр нижней части камеры определяют по формуле:

$$d_n = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{расч}}}{\pi \cdot v_{\text{вх}}}}, \text{ м} \quad (4.4)$$

где $v_{\text{вх}}$ – скорость входа воды в камеру, принимается от 0,7 до 1,2 м/с.

Площадь поперечного сечения нижней части камеры определяют по формуле:

$$f_n = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (4.5)$$

Высота конической части КХО определяется по формуле:

$$h_{\text{кон}} = 0,5 \cdot (D_b - d_n) \cdot \text{ctg} \frac{\beta}{2}, \text{ м} \quad (4.6)$$

где β – угол конусности, принимаемый от 50° до 70°.

Потери напора в вихревой КХО согласно п. 8.4.3 [2] следует принимать от 0,2 до 0,3 м на 1 м высоты конуса.

Объем конической части камеры определяют по формуле:

$$W_{\text{кон}} = \frac{1}{3} \cdot h_{\text{кон}} \cdot (f_b + f_n + \sqrt{f_b \cdot f_n}), \text{ м}^3 \quad (4.7)$$

При наличии цилиндрической части над конусом (см. рис. 4.1б), её объем следует определять по формуле:

$$W_{\text{цил}} = W_{\text{КХО}} - W_{\text{кон}}, \text{ м}^3 \quad (4.8)$$

Высота цилиндрической части над конусом определяется по формуле:

$$h_{\text{ц}} = W_{\text{цил}} / f_b, \text{ м} \quad (4.9)$$

Полная высота вихревой КХО определяется по формуле:

$$h_k = h_{\text{кон}} + h_{\text{ц}}, \text{ м} \quad (4.10)$$

Площадь поперечного сечения желоба определяется по формуле:

$$f_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{n \cdot v_{\text{ж}}}, \text{ м}^2 \quad (4.11)$$

где n – количество желобов, при двухпоточном направлении потока $n = 2$;
 $v_{\text{ж}}$ – скорость движения воды в желобе, $v_{\text{ж}} = 0,1$ м/с.

Высота желоба определяется по формуле:

$$h_{\text{ж}} = \frac{f_{\text{ж}}}{b_{\text{ж}}}, \text{ м} \quad (4.12)$$

где $b_{\text{ж}}$ – ширина желоба, следует принимать от 0,2 до 0,4 м.

Необходимое количество затопленных отверстий n_o , диаметром от 100 до 150 мм, определяется исходя из скорости движения воды через них v , м/с, принимаемой не более 0,10 м/с для мутных вод и 0,05 м/с – для цветных вод согласно п.8.4.4 [2], определяется по формуле:

$$n_o = \frac{Q_{\text{расч}}}{v \cdot f_o}, \text{ шт} \quad (4.13)$$

где f_o – площадь отверстия, м.

Периметр кольцевого желоба по внутренней стенке определяется по формуле:

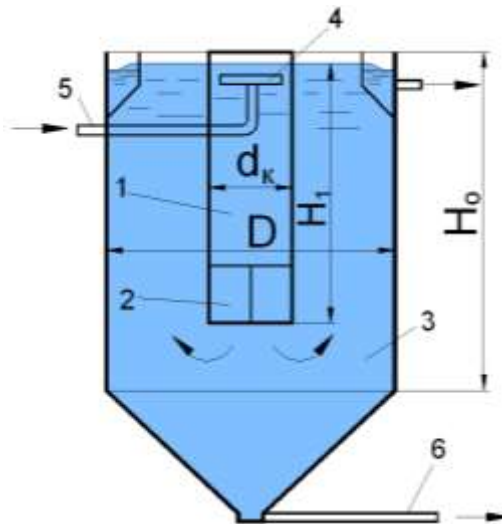
$$p = \pi \cdot (D_{\text{в}} - 2 \cdot b_{\text{ж}}), \text{ м} \quad (4.14)$$

Шаг оси затопленных отверстий определяется по формуле:

$$e_o = p/n_o, \text{ м} \quad (4.15)$$

3.2.2 Водоворотная камера хлопьеобразования

Водоворотная камера хлопьеобразования выполняется в виде цилиндрической емкости, встроенной в вертикальный отстойник. Вода подаётся в верхнюю часть камеры по трубопроводу, снабжённому на конце соплами-насадками. Поток воды из сопел направлен по касательной к стенкам емкости для создания вращательного (водоворотного) движения воды (рисунок 4.2). Для гашения скорости движения воды при её переходе в отстойник в нижней части камеры следует предусматривать гаситель потока.



- 1 – водоворотная камера хлопьеобразования; 2 – гаситель потока;
 3 – вертикальный отстойник; 4 – сопло; 5 – трубопровод подачи исходной воды;
 6 – трубопровод для выпуска осадка

Рис. 4.2. Схема водоворотной камеры хлопьеобразования, совмещенной с вертикальным отстойником

Пример № 6

Расчитать водоворотную камеру хлопьеобразования, совмещенную с вертикальным отстойником. Расчетный расход на станции водоподготовки $Q_{\text{час}} = 197 \text{ м}^3/\text{час}$. Количество рабочих вертикальных отстойников – 4.

Площадь водоворотной камеры хлопьеобразования F_k определяется по формуле:

$$F_k = \frac{Q_{\text{час}} \cdot t}{60 \cdot H \cdot N} = \frac{197 \cdot 15}{60 \cdot 4,5 \cdot 4} = 2,74 \text{ м}^2 \quad (4.16)$$

где $Q_{\text{час}}$ – расчетный расход воды, $\text{м}^3/\text{час}$;

t – продолжительность пребывания воды в камере, принимаемая от 15 до 20 минут, согласно п. 8.6.2 [2];

H – высота камеры хлопьеобразования, которая принимается 90% от значения высоты зоны осаждения вертикального отстойника, принимается от 4,0 до 5,0 м;

N – расчетное количество отстойников на станции.

Диаметр водоворотной камеры хлопьеобразования

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot F_k}{\pi}} = 1,13 \cdot \sqrt{F_k} = 1,13 \cdot \sqrt{2,74} = 1,87 \text{ м} \quad (4.17)$$

Секундный расход воды, поступающей в камеру, составит

$$q_c = \frac{Q_{\text{час}}}{3600 \cdot N} = \frac{197}{3600 \cdot 4} = 0,014 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.18)$$

где $Q_{\text{час}}$ – расчетный часовой расход воды на станции водоподготовки, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Диаметр подводящего трубопровода для расхода $0,014 \text{ м}^3/\text{с} = 14 \text{ л/с}$ принимаем

Подача воды в камеру производится при помощи сопла, направленного по касательной, которое располагается на расстоянии $0,2d_k$ (d_k – диаметр камеры хлопьеобразования) от стенки камеры на глубине 0,5 м от поверхности воды.

Диаметр сопла

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{q_c}{\mu \cdot v_c}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,014}{0,908 \cdot 2,5}} = 0,09 \text{ м} = 90 \text{ мм} \quad (4.19)$$

где μ – коэффициент расхода воды; для конического сходящегося сопла с углом конусности $\beta = 25^\circ$ значение μ принимают равным 0,908;

v_c – скорость выхода воды из сопла, принимается в пределах от 2 до 3 м/с согласно п.8.6.2 [2].

Потери напора в сопле определяются по формуле

$$h_c = 0,06 \cdot v_c^2 = 0,06 \cdot 2,5 \cdot 2,5 = 0,375 \text{ м} \quad (4.20)$$

В нижней части камеры следует предусматривать решетку высотой 0,8 м с ячейками размером 0,5×0,5 м.

Диаметр подводящего трубопровода:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 0,8}} = 0,15 \text{ м} \quad (4.21)$$

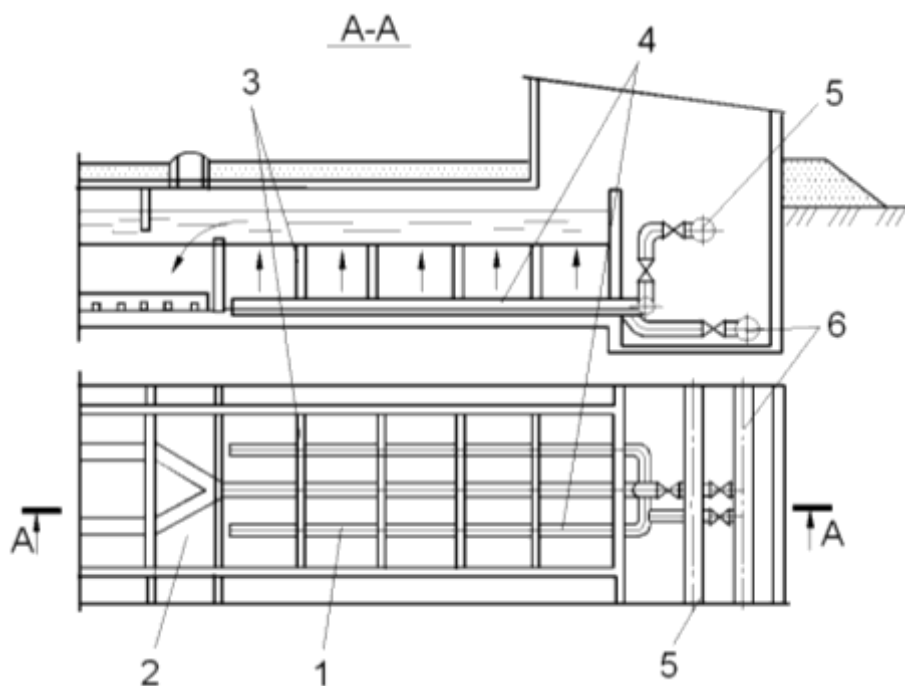
где q_c – расчетный секундный расход воды, м³/с;

v – скорость подвода воды в камеру, $v = 0,7-1,2$ м/сек.

Диаметр подводящего трубопровода для расхода 0,014 м³/с = 14 л/с по [12] принимаем 150 мм, при этом $v = 0,71$ м/сек.

3.2.3 Камера хлопьеобразования зашламленного типа (со слоем взвешенного осадка)

Камеру хлопьеобразования зашламленного типа размещают в начале коридора горизонтального отстойника или выполняют сблокированной с ним, и устаивают в виде прямоугольного железобетонного резервуара с вертикальными поперечными перегородками и пирамидально-гребенчатым днищем (рис. 4.3).



- 1 – камера хлопьеобразования зашламленного типа; 2 – горизонтальный отстойник; 3 – струенаправляющая перегородка; 4 – водораспределительные трубы; 5 – трубопровод для подачи воды в камеру; 6 – трубопровод для опорожнения камеры и удаления осадка из отстойника

Рис. 4.3. Камера хлопьеобразования зашламленного типа

Пример № 7

Рассчитать камеры хлопьеобразования зашламлённого типа, встроенные в горизонтальные отстойники. $Q_{\text{полн.с}} = 78280 \text{ м}^3/\text{сут} = 3262 \text{ м}^3/\text{час}$. Исходные данные приведены в примерах №1, № 8.

Камеры хлопьеобразования устраиваются непосредственно в горизонтальных отстойниках.

Площадь всех камер хлопьеобразования:

$$\sum F_k = \frac{Q_{\text{час}}}{3600 \cdot v} = \frac{3262}{3600 \cdot 0,00065} = 1394 \text{ м}^2 \quad (4.22)$$

где v , м/с, – восходящая скорость движения воды в верхнем сечении встроенной камеры хлопьеобразования, следует принимать от 0,65 до 1,6 мм/с при осветлении вод средней мутности (300–600 мг/л) и от 0,8 до 2,2 мм/с – при осветлении мутных вод, согласно п.9.3.39 [1].

Число камер $n = 7$, принимается по числу горизонтальных отстойников.

Площадь одной камеры рассчитывается по формуле:

$$F_k = \frac{\sum F_k}{n} = \frac{1394}{7} = 199,1 \text{ м}^2 \quad (4.23)$$

Принимаем $F_k = 200 \text{ м}^2$.

Ширина камеры b_k принимается равной ширине отстойника: $b_k = 6 \text{ м}$

Длина камеры:

$$l_k = \frac{F_k}{b_k} = \frac{200}{6} = 33,3 \text{ м} \quad (4.24)$$

Высота камеры h_k , м, согласно п. 8.7.2. [2], принимается на 0,1-0,2 м больше высоты отстойника $H_{\text{отс}}$, м, с учётом потерь напора в камере, и составит:

$$h_k = H_{\text{отс}} + h_n = 3,84 + 0,2 = 4 \text{ м} \quad (4.25)$$

где $H_{\text{отс}}$ – высота отстойника, м;

h_n – потери напора в камере, $h_n = 0,1-0,2 \text{ м}$ [1].

Расход воды, приходящийся на каждую камеру:

$$q_k = \frac{Q_{\text{час}} \cdot 1000}{n \cdot 3600} = \frac{3262 \cdot 1000}{7 \cdot 3600} = 129,4 \text{ л/с} = 0,1294 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.26)$$

Обрабатываемая вода по площади камеры распределяется перфорированными трубами через отверстия, направленные горизонтально.

Количество труб распределительной системы:

$$n_{\text{труб}} = \frac{B}{l} = \frac{5,4}{2} = 2,7 \approx 3. \quad (4.27)$$

где l – расстояние между осями перфорированных труб, следует принимать не более 2 м. Расстояние от перфорированной трубы до стенок камеры – не более 1 м. (п. 8.7.3 [2])

Диаметр перфорированных труб подбирается по расходу в одной трубе и скорости движения воды в ней, принимаемой от 0,5 до 0,6 м/с.

Оси перфорированных труб располагаются на расстоянии 2 м друг от друга, расстояние от трубы до стенки камеры принято 1 м:

$$2 + 2 + 1 + 1 = 6 \text{ м}$$

При расходе воды в одной трубе $129,4:3=43$ л/с и $v_{тр} = 0,57$ м/с: $d = 300$ мм (по табл. [12]).

Суммарная площадь отверстий, расположенных на одной распределительной трубе, должна составлять от 30 % до 40 % площади ее сечения, диаметр отверстий $d_{отв}$ рекомендуется принимать не менее 25 мм, согласно п. 8.7.3 [2]. Суммарная площадь отверстий:

$$\sum f_{отв} = (0,3 \div 0,4) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,4 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 0,028 \text{ м}^2 \quad (4.28)$$

D – диаметр распределительной трубы.

Приняты отверстия диаметром $d_{отв} = 25$ мм.

Площадь каждого отверстия $f_o = \frac{3,4 \cdot 0,025^2}{4} = 0,000491 \text{ м}^2$

Необходимое количество отверстий на каждой трубе составит:

$$n = \sum f_{отв} / f_o = 0,028 / 0,000491 = 57 \quad (4.29)$$

Отверстия располагаются в 2 ряда с шагом:

$$e_o = 2 \cdot l_k / n = 2 \cdot 33300 / 57 = 1168 \text{ мм} \quad (4.30)$$

l_k – длина камеры, мм.

Из камеры хлопьеобразования вода поступает в горизонтальный отстойник над затопленным водосливом. Глубина погружения затопленного водослива:

$$h_B = \frac{q_k}{v_k \cdot b_k} = \frac{0,1294}{0,05 \cdot 6} = 0,43 \text{ м} \quad (4.31)$$

где q_k – расход воды на одну камеру, м³/с

v – скорость движения воды через водослив, принимаемая не более 0,05 м/с – для цветных вод и не более 0,1 м/с – для мутных.

Продолжительность пребывания воды в камере хлопьеобразования:

$$t = h_k / (60 \cdot v) = 4 / (60 \cdot 0,00065) = 4 / 0,039 = 102,56 \text{ мин} \quad (4.32)$$

v – скорость восходящего движения воды, принимаемая от 0,65 до 1,6 мм/с при осветлении вод средней мутности и от 0,8 до 2,2 мм/с – при осветлении мутных вод, м/с.

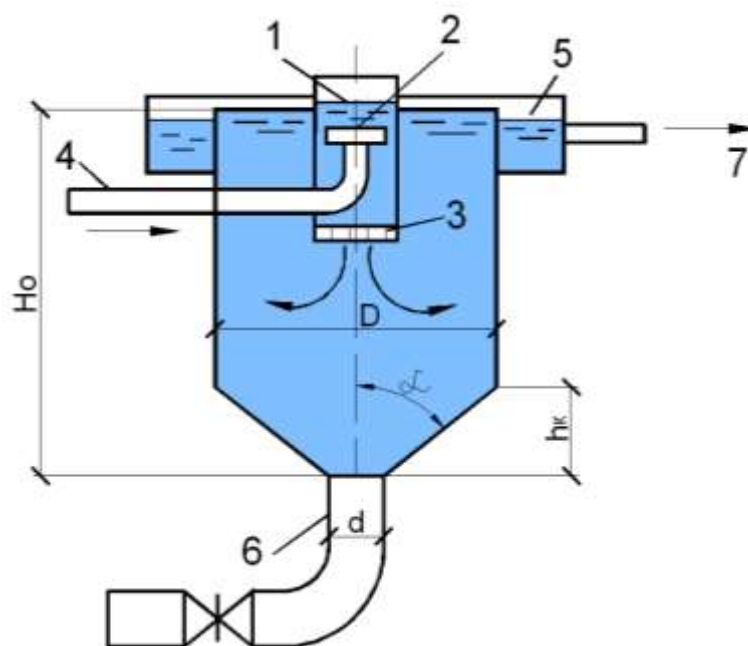
Практическая работа №4

#Практический раздел

Проектирование и расчет отстойников в схемах осветления и обесцвечивания воды

4.1 Вертикальные отстойники

Расчет и проектирование вертикальных отстойников выполняют по СН 4.01.01-2019 (раздел 9.4) с учётом рекомендаций Пособия П1-2019 (раздел 9.1). Схема вертикального отстойника представлена на рис.1.



- 1 – камера хлопьеобразования водоворотного типа; 2 – сегнерово колесо с насадками;
3 – гаситель; 4 – трубопровод подачи исходной воды (из смесителя); 5 – сборный желоб;
6 – трубопровод для отвода осадка; 7 – трубопровод отвода отстоенной воды

Рис. 1 – Схема вертикального отстойника

9.1.2 Площадь зоны осаждения $A_{в.о}$, m^2 , вертикального отстойника, без установки в нем тонкослойных блоков, следует определять по формуле (9.1) для двух периодов в соответствии с СН 4.01.01-2019 (9.4.1):

- минимальной мутности – при минимальном расходе воды в зимний период;
- наибольшей мутности – при максимальном расходе воды, соответствующем этому периоду. Расчетная площадь зоны осаждения должна соответствовать наибольшему значению:

$$A_{с.о} = \beta_{об} \cdot \frac{q}{3,6 v_{расч} \cdot N_p} \quad (9.1)$$

где q – расчетный расход для периодов максимального и минимального суточного водопотребления, $m^3/ч$;

$v_{расч}$ – расчетная скорость восходящего потока, mm/c , принимается по данным инженерных изысканий; при предварительных расчетах – не более указанных в СН 4.01.01-2019 (таблица 9.2) значений скорости осаждения взвешенных веществ;

N_p – количество рабочих отстойников;

$\beta_{об}$ – коэффициент, учитывающий объемное использование отстойника, значение которого принимается от 1,3 до 1,5 (меньшее значение принимается при отношении диаметра к высоте отстойника – 1,0; большее значение – при отношении диаметра к высоте – 1,5).

9.1.3 Общая площадь отстойника $F_{\text{общ}}$, м^2 , определяется как сумма площадей зоны осаднения $A_{\text{в.о}}$ и площади камеры хлопьеобразования $f_{\text{к}}$, м^2 :

Площадь камеры хлопьеобразования $f_{\text{к}}$, м^2 следует определять по 8.5.3 или 8.6.2 Пособия П1 в зависимости от ее конструктивного исполнения.

9.1.4 Диаметр отстойника D , м , определяется, исходя из общей площади отстойника $F_{\text{общ}}$, м^2 . Отношение D/H для вертикального отстойника принимается от 1,0 до 1,5.

4.2 Горизонтальные отстойники

Расчет и проектирование горизонтальных отстойников выполняют по СН 4.01.01-2019 (9.4.1) для двух периодов эксплуатации; с учётом рекомендаций Пособия П1-2019 (разделу 9.2). Схема горизонтального отстойника представлена на рис. 9.1.

9.2.2 Площадь горизонтальных отстойников в плане $A_{\text{г.о}}$, м^2 , определяется по формуле:

$$A_{\text{г.о}} = \alpha_{\text{об}} \cdot \frac{q}{3,6u_0}, \quad (9.9)$$

где q – расчетный расход для периодов максимального и минимального суточного водопотребления, $\text{м}^3/\text{ч}$;

u_0 – скорость осаднения взвешенных веществ, $\text{мм}/\text{с}$, принимаемая по СН 4.01.01-2019 (таблица 9.2);

$\alpha_{\text{об}}$ – коэффициент объемного использования отстойников, принимаемый равным 1,3.

9.2.3 Длину отстойника L , м , следует определять по формуле:

$$L = \frac{H_{\text{ср}} v_{\text{ср}}}{u_0} \quad (9.10)$$

где $H_{\text{ср}}$ – средняя высота зоны осаднения, принимаемая в пределах от 3 до 3,5 м в зависимости от высотной схемы станции;

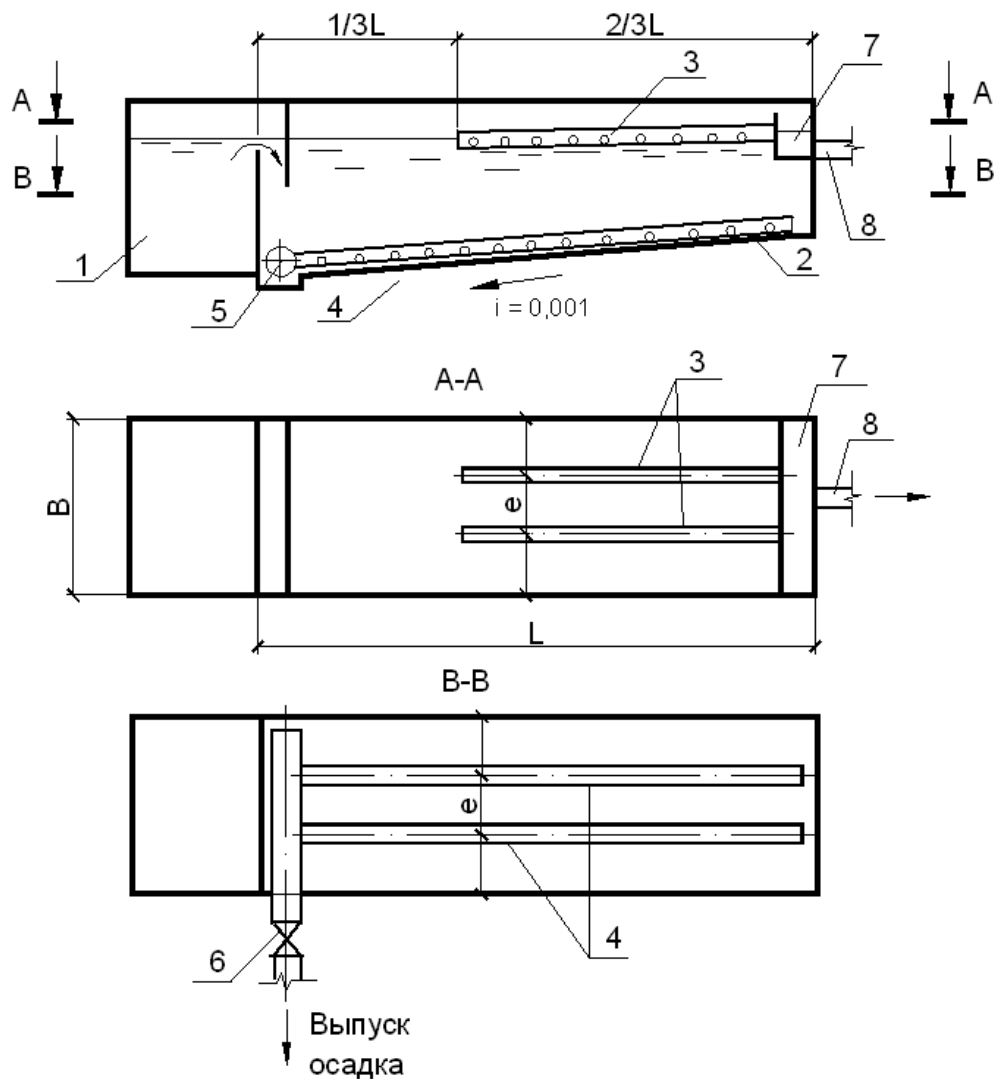
$v_{\text{ср}}$ – расчетная скорость горизонтального движения воды в начале отстойника, принимаемая в пределах, $\text{мм}/\text{с}$:

от 6 до 8 – для маломутных вод;

“ 7 “ 10 – для вод средней мутности

“ 9 “ 12 – для мутных вод.

При этом должно соблюдаться условие $L/H_{\text{ср}} = 10 \dots 25$



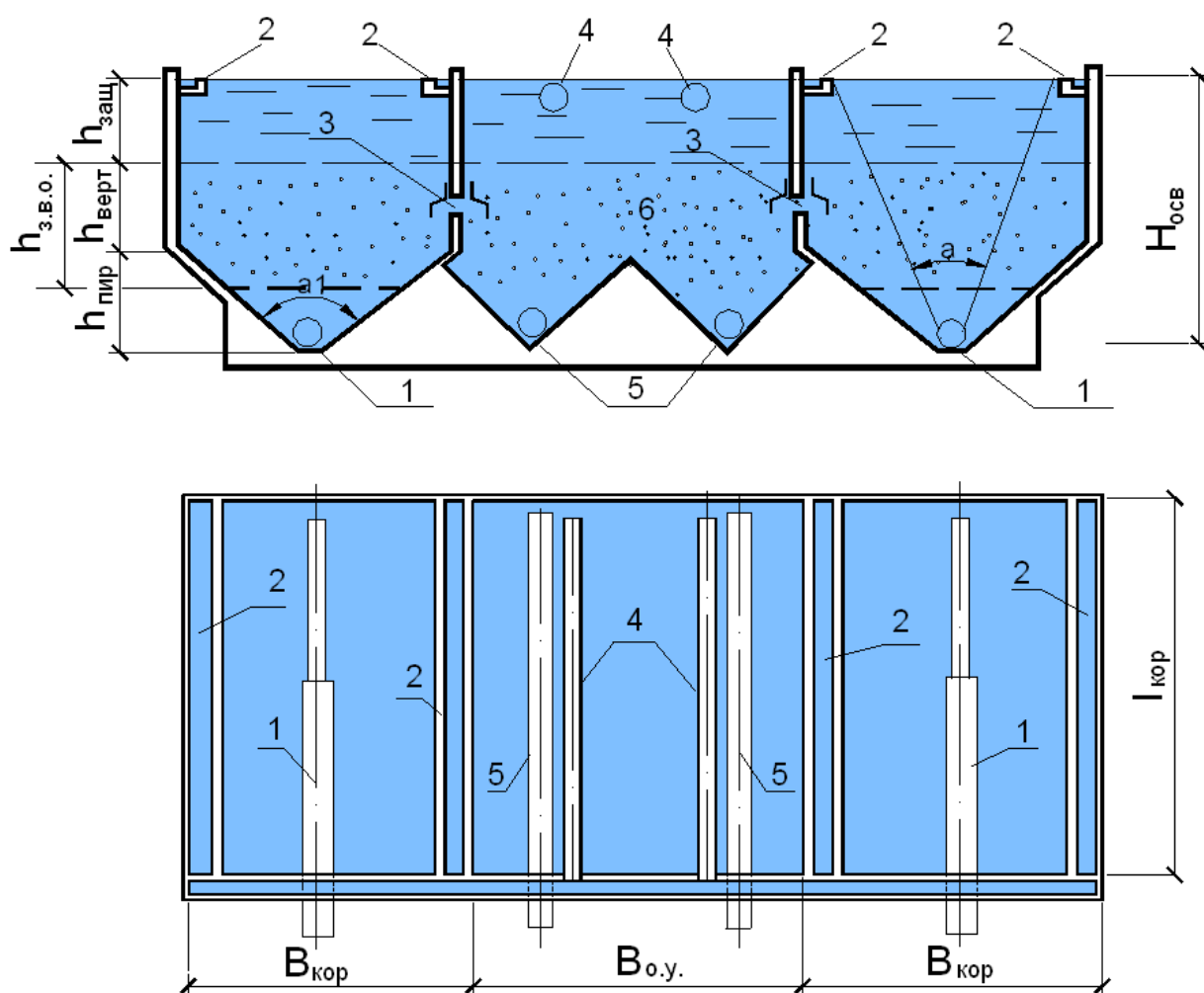
1 – камера хлопьеобразования, встроенная в отстойник; 2 – горизонтальный отстойник; 3 – дырчатые трубы для сбора осветленной воды; 4 – дырчатые трубы для сбора осадка; 5 – трубопровод выпуска осадка; 6 – задвижка для регулирования скорости выпуска осадка; 7 – сборный лоток осветленной воды; 8 – трубопровод отвода осветленной воды

Рисунок 9.1 – Схема горизонтального отстойника

5.1 Проектирование и расчет осветлителей со слоем взвешенного осадка

Проектирование и расчёт осветлителей со слоем взвешенного осадка выполняют по СН 4.01.01-2019 (раздел 9.6) с учётом рекомендаций Пособия П1 (раздел 10.1).

Схема коридорного осветлителя со слоем взвешенного осадка приведена на рис.10.1.



- 1 – водораспределительный дырчатый коллектор; 2 – водосборные желоба;
- 3 – осадкоприемные окна; 4 – дырчатые трубы для отвода осветленной воды из осадкоуплотнителя; 5 – дырчатые трубы для удаления осадка из осадкоуплотнителя;
- 6 – осадкоуплотнитель

Рисунок 10.1 - Схема осветлителя коридорного типа со слоем взвешенного осадка

10.1.2 Общая площадь осветлителей со слоем взвешенного осадка F , м², определяется по формуле:

$$F = F_{осв} + F_{отд} = \frac{q_{час} \cdot K_{р.в}}{3,6 \cdot v_{осв}} + \frac{(1 - K_{р.в}) \cdot q_{час}}{3,6 \cdot v_{осв} \cdot \sigma}, \quad (10.1)$$

где $F_{\text{осв}}$ – площадь зоны осветления, м²;

$F_{\text{отд}}$ – площадь зоны отделения осадка, м²;

$Q_{\text{час}}$ – расчетный расход воды, принимаемый равным суммарной производительности станции водоподготовки, м³/ч;

$K_{\text{р.в}}$ – коэффициент распределения воды между зонами осветления и отделения осадка (осадкоуплотнителем), принимаемый по СН 4.01.01-2019 (таблица 9.3);

$v_{\text{осв}}$ – скорость восходящего потока воды в зоне осветления, мм/с, принимаемая по СН 4.01.01-2019 (таблица 9.3);

σ – коэффициент снижения скорости восходящего потока воды в зоне отделения осадка вертикального осадкоуплотнителя по сравнению со скоростью воды в зоне осветления; $\alpha = 0,9$.

Расчётное количество осветлителей принимается из расчёта, что площадь одного осветлителя в плане не должна превышать 150 м².

Практическая работа №6

6.1 Проектирование и расчет фильтров и контактных осветлителей

#Практический раздел

Вода, поступающая на фильтры после отстойников, осветлителей со слоем взвешенного осадка или флотаторов, не должна содержать взвешенных веществ более 25 мг/дм³.

Фильтры следует проектировать в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (раздел 9.7).

Скорости фильтрования при нормальном и форсированном режимах следует принимать по таблице 11.1 Пособия П1 с учетом обеспечения продолжительности работы фильтров между промывками в соответствии с требованиями 4.01.01-2019 (9.7.1.3).

11.1.2 Общую площадь фильтрования $A_{\text{ф}}$, м², следует определять по формуле:

$$A_{\text{ф}} = \frac{Q}{T_{\text{ст}}v_{\text{н}} - n_{\text{пр}}v_{\text{пр}}t_1 - n_{\text{пр}}v_{\text{н}}t_{\text{пр}}}, \quad (11.1)$$

где Q – полная производительность станции, м³/сут;

$T_{\text{ст}}$ – продолжительность работы станции в течение суток, ч;

$v_{\text{н}}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч, принимается по таблице 11.1 Пособия П1, с учетом расчетов по формуле (11.2);

$n_{\text{пр}}$ – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации;

$v_{\text{пр}}$ – скорость промывки, м/ч, следует принимать по таблице 11.1 Пособия П1;

t_1 – продолжительность промывки, ч, следует принимать по таблице 11.1 Пособия П1;

$t_{\text{пр}}$ – время простоя фильтра в связи с промывкой, ч, следует принимать:

0,33 – для фильтров, промываемых водой;

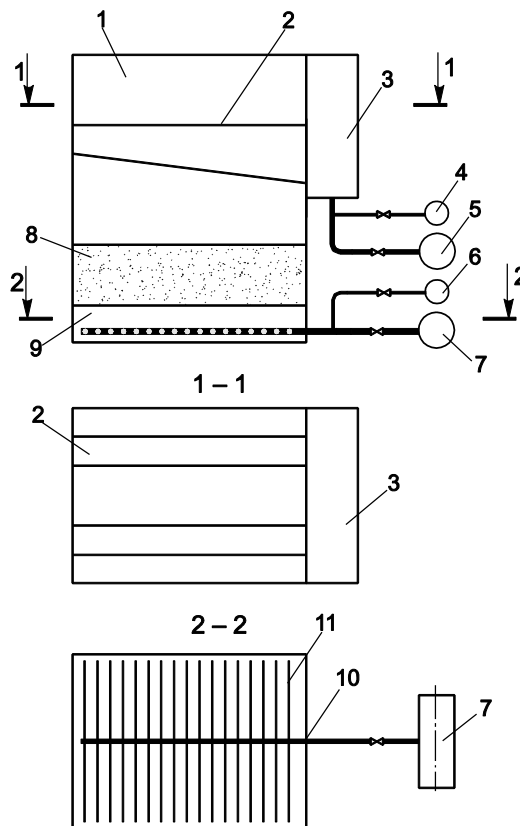
0,5 – для фильтров, промываемых водой и воздухом.

При водовоздушной промывке произведение $(n_{np} \cdot v_{np} \cdot t_1)$ следует определять как сумму произведений соответствующих величин на отдельных этапах промывки.

11.1.7 Площадь одного фильтра F_1 , m^2 , определяется как отношение общей площади фильтрования A_{ϕ} к количеству фильтров.

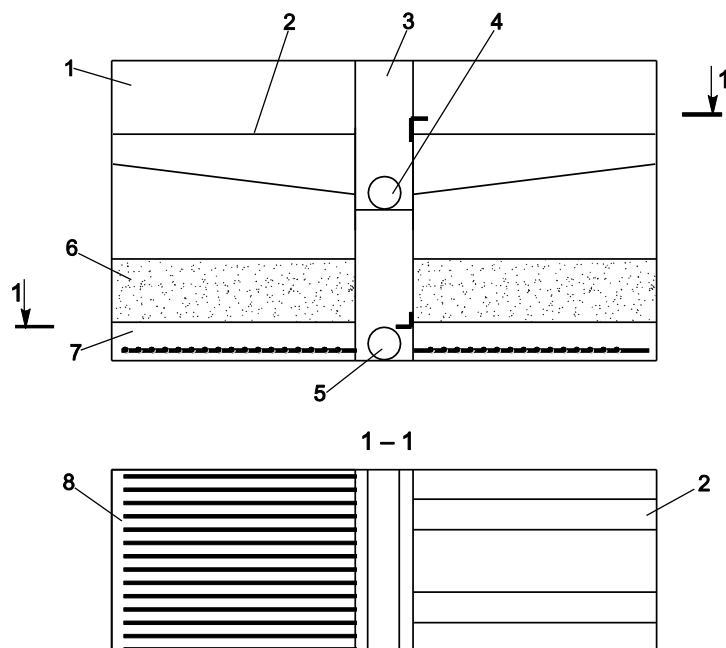
Если площадь одного фильтра F_1 меньше $30 m^2$, то принимается к проектированию конструкция фильтра с боковым сборным каналом (рисунок 11.1), если F_1 больше $30 m^2$ – то с центральным сборным каналом (рисунок 11.2).

Параметры фильтрующей загрузки: диаметр зерен, коэффициент неоднородности загрузки, высоту слоя загрузки – следует принимать по таблице 11.1 Пособия П1.



1 – корпус фильтра; 2 – желоб; 3 – боковой сборный канал; 4 – трубопровод подачи исходной воды; 5 – трубопровод отвода промывной воды; 6 – трубопровод отвода фильтрованной воды; 7 – трубопровод подачи промывной воды; 8 – фильтрующий слой; 9 – поддерживающий слой; 10 – коллектор; 11 – ответвления (дырчатые трубы) распределительной системы

Рисунок 11.1 - Схема осветлительного фильтра с боковым сборным каналом



- 1 – корпус фильтра; 2 – желоб; 3 – центральный сборный канал;
 4 – трубопровод подачи исходной воды и отвода промывной воды;
 5 – трубопровод отвода фильтрованной воды и подачи промывной; 6 – фильтрующий слой;
 7 – поддерживающий слой; 8 – дырчатые трубы

Рисунок 11.2 - Схема осветлительного фильтра с центральным сборным каналом

Практическая работа №7

#Практический раздел

7.1 Проектирование и расчет сооружений по обеззараживанию воды

Проектирование сооружений по обеззараживанию воды газообразным хлором следует производить в соответствии с требованиями «Правил по обеспечению промышленной безопасности при использовании и хранении хлора» (№ 31 от 30 июня 2017 г.), СН 4.01.01-2019 (раздел 9.8) и Пособия П1-2019 (12.1.1- 12.1.8).

Проектирование сооружений по обеззараживанию воды гипохлоритом натрия следует производить в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.8.14-9.8.16) и Пособия П1(12.1.9-12.1.13).

Проектирование сооружений по обеззараживанию воды гипохлоритом кальция следует производить в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.8.17) и Пособия П1 (12.1.14).

Проектирование сооружений по обеззараживанию воды диоксидом хлора следует производить в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.8.27).

Проектирование сооружений по обеззараживанию воды озоном следует производить в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.8.26) и Пособия П1 (раздел 12.2).

Согласно п. 12.2.1 Пособия П1 обеззараживание озонированием следует применять при необходимости комплексной обработки воды с целью обесцвечивания, удаления железа, марганца, привкусов и запахов, окисления

сульфатов, нитритов, сероводорода и других примесей, которые окисляются озоном.

Проектирование сооружений по обеззараживанию воды ультрафиолетовым излучением (УФ-излучение) следует производить после ее предварительной очистки, в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (раздел 9.8) и Пособия П1 (раздел 12.3).

Практическая работа №8

#Практический раздел

Расчет резервуаров чистой воды. Расчет сооружений для обработки промывных вод от фильтров или от контактных осветлителей

8.1 Расчет резервуаров чистой воды

Общее количество резервуаров одного назначения в одном узле должно составлять не менее двух в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (12.6). При выключении одного резервуара в остальных должно храниться не менее 50% пожарного и аварийного объемов воды. Оборудование резервуаров должно обеспечивать возможность независимого включения и опорожнения каждого резервуара

Объем резервуаров чистой воды (РЧВ) определяется из условий хранения следующих запасов воды:

1. регулирующего объема для подачи потребителю;
2. пожарного запаса воды;
3. **объема воды на две промывки фильтров.**

Регулирующий объем воды в резервуарах W_p , м³, для регулирования часовой и, при необходимости, суточной неравномерности потребления воды, следует определять на основании графиков поступления и отбора воды, а при их отсутствии – по трехступенчатому графику водопотребления (п. 12.1 СН 4.01.01-2019).

Пожарный объем воды в резервуарах следует определять в соответствии с требованиями СН 2.02.02.

При выполнении проекта, объем резервуаров чистой воды принимаем в пределах 25...30 % от суточной производительности водоочистной станции. Размеры прямоугольных резервуаров, проектируемых из сборного железобетона, приведены в таблице 8.

Таблица 8.

Размеры прямоугольных резервуаров

Емкость м ³	Ширина м	Длина м	Высота М	Емкость м ³	Ширина м	Длина м	Высота м
50	3	6	3,6	2000	18	24	4,8
100	6	6	3,6	3000	24	30	4,8
250	6	12	3,6	6000	36	36	4,8
500	12	12	3,6	10000	48	48	4,8

1000	12	18	4,8	20000	66	66	4,8
------	----	----	-----	-------	----	----	-----

8.2 Расчет сооружений для обработки промывных вод от фильтров (или от контактных осветлителей)

Расчет и проектирование сооружений для обработки промывных вод от фильтров (или от контактных осветлителей) и осадка на станции водоподготовки следует производить в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019 (9.16) с учётом рекомендаций Пособия П1 (раздел 21) и Приложения Н Пособия П1.

21.10 Вместимость отстойника промывных вод $W_{отс}$, м³, следует определять как сумму объемов зоны осаждения, $W_{осв}$, м³, и зоны накопления осадка $W_{осд}$, м³.

Объем зоны осаждения, $W_{осв}$, м³, следует принимать на 20 % больше объема воды от одной промывки фильтра.

21.11 Объем зоны накопления осадка $W_{осд}$, м³, следует рассчитывать по формуле:

$$W_{осд} = \frac{W_c \cdot (C_\varepsilon - M_{осв})}{\delta}, \quad (21.3)$$

где W_c – объем промывной воды, м³, поступающей в отстойник за период T_y (период между выпусками осадка из отстойника, следует принимать не менее 12 ч); при равных объемах единичных поступлений промывной воды W_c определяется как произведение количества поступлений на объем единичного поступления;

C_ε – содержание взвешенных веществ в промывной воде, поступающей в отстойник, г/м³, определяемое по формуле:

$$C_\varepsilon = \frac{(C_{исх} - C_\phi) \cdot Q_\phi \cdot T_\phi}{W_\phi}, \quad (21.4)$$

здесь $C_{исх}$ – содержание взвешенных веществ в воде, поступающей на фильтры, г/м³;

C_ϕ – содержание взвешенных веществ в воде после фильтров, г/м³;

Q_ϕ – производительность фильтра, м³/ч;

W_ϕ – объем воды на промывку фильтра, м³;

$M_{осв}$ – мутность воды, выходящей из отстойника, г/м³; принимается в пределах от 8 до 15 г/м³;

δ – средняя по всей высоте осадочной части концентрация твердой фазы в осадке, г/м³, принимаемая:

10 000 – для станций осветления воды и реагентного обезжелезивания;

35 000 – для станций безреагентного обезжелезивания.

21.12 При применении полиакриламида дозой около 0,1 г/м³ продолжительность отстаивания промывных вод станций осветления и реагентного обезжелезивания следует снижать до 1 ч.

21.18 Количество отстойников или отделений секционного отстойника $N_{отст}$ определяется по формуле (21.5) и принимается не менее двух:

$$N_{\text{отст}} = \frac{T_o \cdot N_{\text{ф}} \cdot n_{\text{пр}}}{T_{\text{сут}}} + 1 \quad (21.5)$$

где T_o – продолжительность работы отстойника, ч (примерно 4 ч из расчета: 2 ч на пребывание воды в отстойнике и 2 ч на перекачивание осветленной воды);

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

$n_{\text{пр}}$ – количество промывок каждого фильтра в сутки;

$T_{\text{сут}}$ – продолжительность работы станции в течение суток, ч .

Практическая работа №9

#Практический раздел

9.1 Разработка генпланов площадки водоочистных комплексов

На рисунке 9.1. показан пример изображения проектируемых сетей водоснабжения и канализации с координатами или привязками к координатным осям зданий (сооружений) или постоянным базисам.

В соответствии с этим, площадка генплана разбивается вертикальными и горизонтальными осями через каждые 50 или 100 м. Каждой оси присваивается свое название.

Размеры зданий следует предусматривать кратными *3-м метрам*. Размеры прямоугольных и круглых в плане ёмкостных сооружений также следует принимать кратными *3-м метрам*, а по высоте – кратными *0,6 м*. *При длине стороны или диаметра сооружения до 9 м, а также ёмкостных сооружений, встроенных в здания, допускается принимать размеры сооружения кратными 1,5 м; цилиндрических – кратными 1 м.*

На генплан водоочистного комплекса наносятся все технологические, обслуживающие и подсобные сооружения: реагентное хозяйство, микрофильтры или БС, осветлители со взвешенным осадком, отстойники, скорые фильтры, РЧВ, склад хлора, насосная станция II подъёма, сооружения по обороту промывной воды, котельная, мастерские. Генплан выполняется в масштабе 1:500; 1:1000.

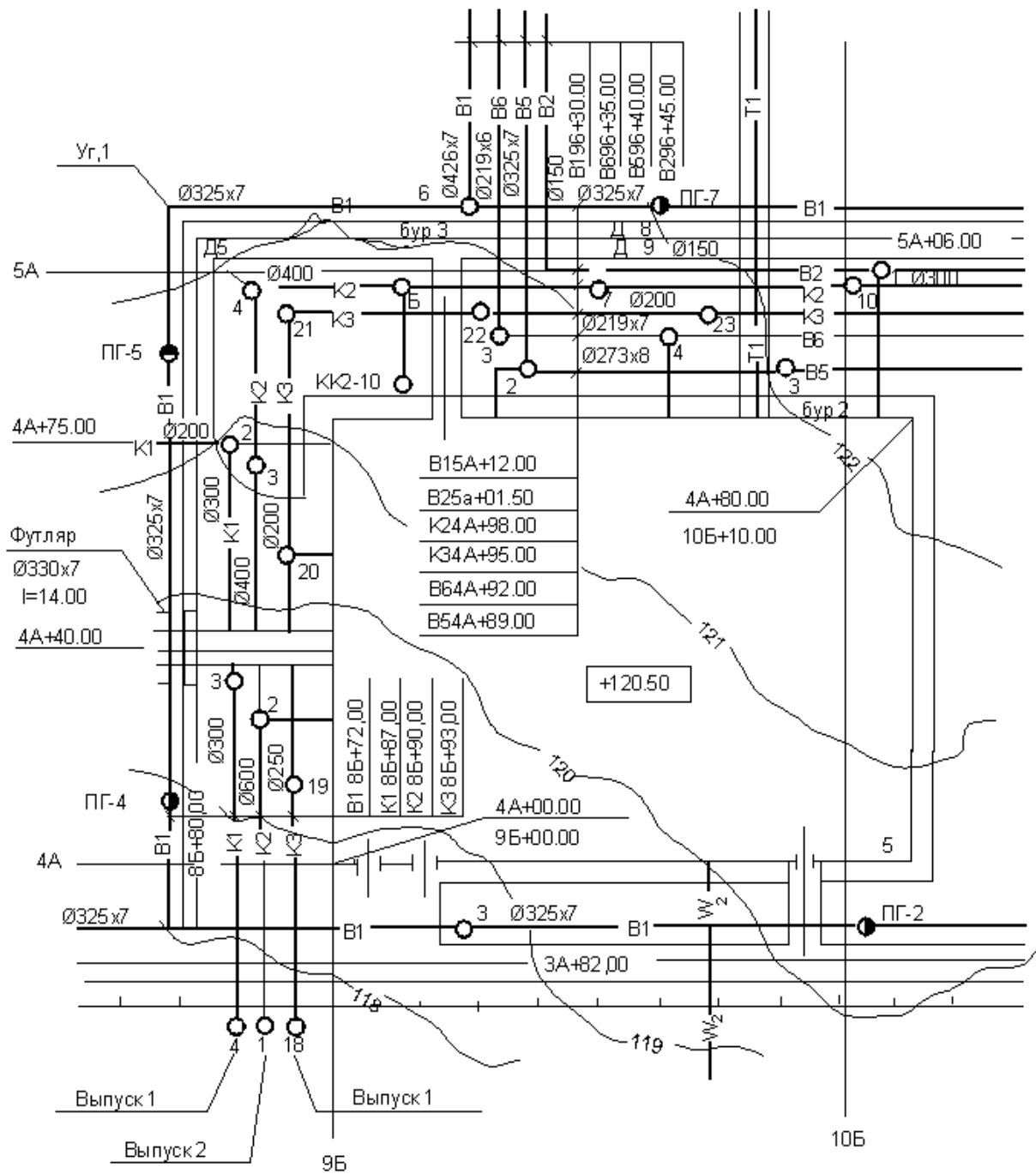


Рис. 9.1. Пример площадки генплана

Если сооружения размещены в здании, то на генплане показывается здание с примыкающими к нему коммуникациями. Территория, где находятся водоочистные сооружения, ограждается в соответствии с требованиями СН 4.01.01-2019.

Территория водоочистой станции является зоной строго санитарного режима. Граница первого пояса зоны водопроводных сооружений должна совпадать с ограждением площадки сооружений и устанавливаться на расстоянии: от стен запасных и регулирующих емкостей, фильтров и контактных осветлителей – не менее 30 м; от водонапорных башен – не менее 10 м; от остальных помещений (отстойники, реагентное хозяйство, склад хлора,

насосные станции и иные) – не менее 15 м (по СНиП №142 от 30 декабря 2016 г. «Требования к организации зон санитарной охраны источников и централизованных систем питьевого водоснабжения» РБ).

9.18.1 Склады реагентов следует рассчитывать исходя из условия хранения 30-суточного запаса, считая по периоду максимального потребления реагентов, но не менее объема их разовой поставки.

Уменьшение срока хранения допускается, но не более чем до 15 сут по СН 4.01.01-2019 (9.18).

9.18.2 В зависимости от вида реагентов и объема хранения склады следует проектировать для сухого или мокрого хранения реагента в виде концентрированного раствора. При объемах разовой поставки, превышающих 30-суточное потребление реагентов, хранящихся в мокром виде, допускается устраивать дополнительный склад для сухого хранения части реагентов.

9.18.3 Для сухого хранения реагентов следует проектировать закрытый склад. Хранение реагента следует предусматривать в таре производителя или навалом.

При хранении навалом для определения площади склада высоту слоя реагента принимают, м:

- от 2,0 до 3,5 – для коагулянтов;
- “ 1,5 “ 2,5 – для извести.

9.18.7 Склад гранулированного активного угля следует размещать в отдельном помещении согласно СН 4.01.01-2019 (9.18)

9.18.8 Склады для хранения реагентов (кроме хлора и аммиака) должны быть расположены вблизи помещений для приготовления их растворов и суспензий.

9.18.9 Емкость расходного склада хлора не должна превышать 100 т, одного полностью изолированного отсека – 50 т. Склад (отсек) должен иметь два выхода с противоположных сторон здания или помещения.

Склад следует располагать в наземных и полузаглубленных зданиях. При размещении склада в полузаглубленных зданиях следует предусматривать устройство двух лестниц и двух выходов.

Хранение хлора следует предусматривать в баллонах или бочках.

9.18.10 В помещении склада хлора следует предусматривать емкость с нейтрализующим раствором. Расстояние от стенок емкости до баллона или контейнера должно составлять не менее 500 мм; глубина емкости должна обеспечивать покрытие аварийного сосуда слоем раствора не менее 300 мм. На дне емкости необходимо предусматривать опоры, фиксирующие сосуд.

Склады должны быть расположены в отдельных, закрытых, хорошо вентилируемых помещениях.

9.18.13 Расчет площадок и емкостей для хранения фильтрующих материалов, а также подбор оборудования следует производить из расчета 10 % ежегодного пополнения и обмена фильтрующей загрузки и дополнительного аварийного запаса на перегрузку:

- одного фильтра – при количестве фильтров на станции до 20;
- двух фильтров – при большем количестве фильтров.

9.18.14 Способ транспортирования фильтрующих материалов обосновывают проектом. При гидравлическом способе диаметр пульпопровода следует определять исходя из скорости движения пульпы от 1,5 до 2 м/с, но не менее 100 мм. Повороты трубопровода следует предусматривать радиусом не менее пятикратного диаметра трубопровода. На стационарных трубопроводах пульпы следует предусматривать устройства для прочисток.

На площадке очистной станции должны быть расположены трубопроводы разного назначения: для подачи воды на станцию и отвода воды на РЧВ; подачи и отвода воды на промывку фильтров; отвода производственных и бытовых сточных вод; подвода воды для питьевых целей; теплогазоснабжения, энергоснабжения, хлоро- и реагентопроводов; наружного освещения и другие с соответствующими колодцами и камерами переключения.

На станциях водоподготовки должна предусматриваться система обводных коммуникаций, обеспечивающая возможность отключения отдельных сооружений для проведения ремонтных или аварийных работ согласно п.22.2 Пособия П1 (22.2).

Приложения

#Практический раздел

Приложение 1

Сооружения для осветления и обесцвечивания поверхностных вод

Основные сооружения	Условия применения		Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность, мг/дм ³ , не более	Цветность, градус цветности, не более	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов			
1 Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование): напорные открытые	30 20	50 50	До 30 000 “ 50 000
2 Вертикальные отстойники – скорые фильтры	1500	120	“ 5000
3 Горизонтальные отстойники – скорые фильтры	1500	120	Св. 30 000
4 Двухступенчатое фильтрование: крупнозернистые фильтры – скорые фильтры	300	120	Любая
5 Осветлители со взвешенным осадком – скорые фильтры	1500 150 1000 1500	120 200 120 50	Св. 5000 До 30 000 “ 800 “ 5000
Примечания 1 Мутность указана суммарная, включая взвешенные вещества, образующиеся при введении реагентов. 2 Осветлители со взвешенным осадком следует применять при равномерной подаче воды на сооружения или изменении в течение 1 ч расхода воды в пределах не более ±15 % и температуры воды не более ±1°С.			

Технические характеристики микрофильтров типа МФ и барабанных сеток типа БС (завод «Водмашоборудование»)

Марка аппарата	Производительность, тыс.м ³ /сут	Размеры барабана, мм			Размеры агрегата, мм			Число фильтрующих элементов	Электродвигатель			Вес, кг
		D	L	L1	длина камеры, А	ширина камеры	Н		марка	число оборотов в	мощность в кВт	
МФ1,5x1	4		1240	2064	2095	2660	1000	18	Т-51/8-6-4	1500	2,5	1240
МФ1,5x2	8	11550	2305	3130	3160	2660	1000	36	Т-51/8-6-4	1500	2,5	1700
МФ1,5x3	12		3370	4195	4196	2660	1000	54	Т-51/8-6-4	1500	25	2050
МФ3x1,5	15		1714	2575	2606	4060	1700	18	Т-52/8-6-4	1500	4	2160
МФ3x3	30	33050	3370	4091	4122	4060	1700	36	Т-52/8-6-4	1500	4	2570
МФ3x4,5	45		4744	5604	5635	4060	1700	54	Т-52/8-6-4	1500	4	3937

Характеристики воздуходувок ВК

Марка воздуходувки	Подача, м ³ /мин	Напор, м.	Габариты электродвигателем, мм			Мощность электродвигателя, кВт
			длина	ширина	высота	
ВК-1,5	1,4	6	660	562	850	4
ВК-3	3,1	6	1225	527	990	7,5
ВК-6	5,7	6	1500	580	1370	18,5
ВК-12	10,4	6	1840	780	1750	22,0

Технические характеристики насосов-дозаторов

Марка	Подача, л/ч	Давление, кгс/см ²	Мощность привода, кВт	Аналогичные агрегаты завода «РИНАР»
ДП 2500/10 К14(24)А(В)	2500,0	10	3,00	НД 1,0 2500/10К14А(В)
ДП 1600/16 К14(24)А(В)	1600,0	16	3,00	НД 1,0 1600/16К14А(В)
ДП 1000/25 К14(24)А(В)	1000,0	25	3,00	НД 1,0 1000/20К14А(В)
ДП 630/40 К14А(В)	630,0	40	3,00	–
ДП 400/63 К14А(В)	400,0	63	3,00	–
ДП 250/100 К14А(В)	250,0	100	3,00	–
ДП 160/160 К14А(В)	160,0	160	3,00	–
ДП 100/250 К14А(В)	100,0	250	3,00	НД 100/250 К14А(В)
ДП 63/400 К14А(В)	63,0	400	3,00	–
ДП 100/10 К14(24)А(В)	100,0	10	0,25	НДР 0,5 100/10 К14А(В)
ДП 63/16 К14(24)А(В)	63,0	16	0,25	НДР 0,5 63/16 К14А(В)
ДП 40/25 К14(24)А(В)	40,0	25	0,25	НДР 0,5 40/25 К14А(В)
ДП 25/40 К14(24)А(В)	25,0	40	0,25	НДР 0,5 25/40 К14А(В)

Марка	Подача, л/ч	Давление, кгс/см ²	Мощность привода, кВт	Аналогичные агрегаты завода «РИНАР»
ДП 16/63 К14А(В)	16,0	63	0,25	НДР 1,0 16/36 К14А(В)
ДП 10/100 К14А(В)	10,0	100	0,25	НДР 1,0 10/100 К14А(В)
ДП 6,3/160 К14А(В)	6,3	160	0,25	–
ДП 4/250 К14А(В)	4,0	250	0,25	–
ДП 2,5/400 К14А(В)	2,5	400	0,25	НДР 2,5/400 К14А(В)

Приложение 5

Технические характеристики аппаратов с перемешивающими устройствами со съёмными плоскими крышками

Аппарат	Емкость, м ³	Диаметр аппарата, м	Электродвигатель			Вес в т
			тип	Мощность в кВт	число оборотов в 1 мин	
С коническим днищем и рамной мешалкой	6,3	1,8	АО51-4	4,5	32	2,4
	8	2	АО52-4	7	32	2,8
	10	2,2	АО52-4	7	32	3,4
	12	2,4	АО52-4	7	32	3,7
С плоским днищем и пропеллерной мешалкой	6,3	1,8	АО51-4	4,5	180	2,3
	8	2	АО51-4	4,5	180	2,7
	10	2,2	АО52-4	7	180	3,3
	12,5	2,4	АО52-4	7	180	3,7
С плоским днищем и лопастной мешалкой	2,5	1,4	АО41-4	1,7	485	0,94
	5	1,8	АО42-4	2,8	485	1,3
	10	2,2	АО51-4	4,5	485	2,1

Приложение 6

Технические характеристики гидравлических мешалок для кислых реагентов и известкового молока

Марка (шифр) мешалки		Объем, м ³	Диаметр мешалки, мм	Общий вес, кг	
для кислых реагентов	для известкового молока			с корзиной	без корзины
МК-1	М-1	1	1200	296	236
МК-2	М-2	2	1600	394	335
	М-4	4	1600		530

	М-8	8	2000		1415
	М-14	14	2000		2175

Приложение 7

Технические характеристики мутилок

Марка	Объем, м ³	Диаметр, мм	Число оборотов вертикального вала в мин.	Тип электродвигателя	Общий вес, кг
МЛ-1,5x1,5	2,2	1500	36	АО41-6	284
МЛ-2x2	5,5	2000	29	АО42-6	315
МЛ-2,5x2	8,5	2500	22	АО42-6	317
МЛ-3x3	19	3000	19	АО51-6	533
МЛ-4x3	35	4000	14	АО51-6	548
Мутилки не предназначены для эксплуатации в кислой среде					

Литература для выполнения практических работ

1. СН 4.01.01-2019 Строительные нормы Республики Беларусь «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Министерство архитектуры и строительства РБ, Минск, 2020 г.

2. Пособие П1-2019 «Проектирование сооружений водоподготовки» к ТКП 45-4.01-320-2018, Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2020 г.

3. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений /А.С.Москвитин, Б.А.Москвитин, Г.М.Мирончик, Р.Г.Шапиро; Под ред. А.С.Москвитина – М.: Стройиздат, 1979. – 430 с., ил. – (Справочник монтажника).

4. Карасев Б.В. Насосные и воздухоудвные станции. – Мн.: Вышэйшая школа, 1990. – 326 с.

5. СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», Минздрав РБ, Минск, 1999.

6. Технология очистки природных вод. Кульский Л.А., Строкач П.П. – Киев: Вища школа., 1981. – 328 с.

7. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты: Учеб. Пособие для вузов. – 4-е изд., Кожин В.Ф. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2008. – 304 с.

8. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. В 3-х томах. – Т.2 Очистка и кондиционирование природных вод (под общей редакцией д.т.н., проф. Журбы М.Г.) Вологда – Москва: Во ГТУ, 2001. – 324 с.

9. Каталог: Насосное оборудование, электродвигатели, ТОО “Диор”.
10. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. – М.: Высш. шк., 1984. –368 с.
11. Классификаторы технологий очистки природных вод (под общей редакцией Журбы М.Г.). – М.: Союзводоканалпроект, 2000. – 120 с.
12. Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев, Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. – М.: ООО БАСТЕТ, 2014. – 382 с.
13. Трубы, арматура и оборудование водопроводно-канализационных сооружений /А.С.Москвитин, В.И.Махров, Е.В.Авдеев и др.; Под ред. А.С.Москвитина – М.: Стройиздат, 1970. – 528 с., ил. – (Справочник по специальным работам).

2.2. Материалы для лабораторных работ по дисциплине «Водоподготовка»

Перечень лабораторных работ

#Структура

<u>Лабораторная работа № 1.</u>	181
<u>Определение оптимальной дозы коагулянта пробным коагулированием.....</u>	181
<u>Лабораторная работа №2.</u>	182
<u>Влияние щёлочности на процесс коагулирования примесей воды.....</u>	183
<u>Лабораторная работа №3.</u>	183
<u>Определение оптимальных доз флокулянта.....</u>	183
<u>Лабораторная работа №4.</u>	185
<u>Построение кривых осаждаемости взвеси, обработанной и необработанной коагулянтом</u>	185
<u>Лабораторная работа №5.</u>	187
<u>Ситовой анализ фильтрующих загрузок.....</u>	187
<u>Лабораторная работа №6</u>	189
<u>Лабораторная работа №7</u> Обезжелезивание подземных вод упрощённой аэрацией с применением различных фильтрующих материалов	

Лабораторная работа № 1.

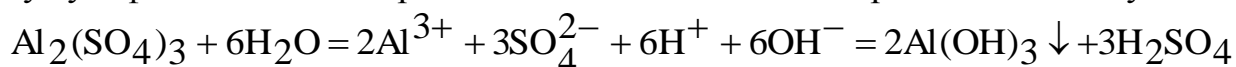
#Практический раздел

Определение оптимальной дозы коагулянта пробным коагулированием

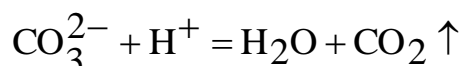
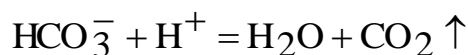
Цель работы: Определить оптимальную дозу коагулянта для воды из природного источника и скорректировать ее пробным коагулированием..

Коагуляция примесей воды – это процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частиц дисперсной системы за счет их взаимодействия и объединения в агрегаты. Завершается этот процесс отделением агрегатов слипшихся частиц от жидкой фазы и осаждением.

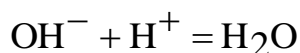
Диспергированные, коллоидные и взвешенные частицы примесей природных вод в большинстве случаев несут одинаковый заряд, что обуславливает возникновение межмолекулярных сил отталкивания и агрегативную устойчивость. В технологии очистки воды предусматривается частичное или полное удаление примесей, поэтому агрегативную устойчивость частиц стремятся нарушить, а заряд снизить до нуля или близких к нему величин. Для этого добавляют к воде сульфат алюминия, сульфат железа (II) и сульфат железа (III), хлорид алюминия, хлорид железа (III), оксихлорид алюминия и другие вещества, которые являясь коагулянтами, нарушают агрегативную устойчивость системы и образуют хлопья гидроксидов, сорбирующие частицы примесей. При введении, например, в обрабатываемую воду сульфата алюминия происходит диссоциация и гидролиз его молекул:



Для быстрого и полного протекания процесса гидролиза коагулянтов необходим некоторый щелочной резерв воды, то есть наличие в ней определенного количества бикарбонат-ионов и карбонат-ионов, которые связывают ионы водорода, выделяющиеся при гидролизе:



Одновременно избыток ионов водорода прекращает процесс гидролиза сульфата алюминия:



Ход работы:

1. Определить цветность исходной воды.
2. Рассчитать теоретическую дозу коагулянта по цветности воды по СН 4.01.01-2019 (9.3.2):

$$D_K = 4\sqrt{Ц}, \text{ мг/л}$$

В качестве коагулянта используется сернокислый алюминий $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, 2,5%-ный раствор.

В колбу налить 100 мл исходной воды, добавить такое количество коагулянта, которое соответствовало бы теоретической дозе коагулянта.

Пример расчета дозы коагулянта:

Цветность исходной воды $\text{Ц} = 70$ град.

Доза коагулянта: $D_k = \sqrt{\text{Ц}} = \sqrt{70} = 33$ мг/л

В 100 мл 2,5%-ного раствора коагулянта содержится 2,5 г (2500 мг) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, тогда объем раствора, в котором содержится 33 мг будет:

$$x = \frac{33 \cdot 100}{2500} = 1,32 \text{ мл}$$

Значит, для обесцвечивания воды необходимо добавить 1,32 мл 2,5%-ного раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ на 1 литр или 0,132 мл на 100 мл воды.

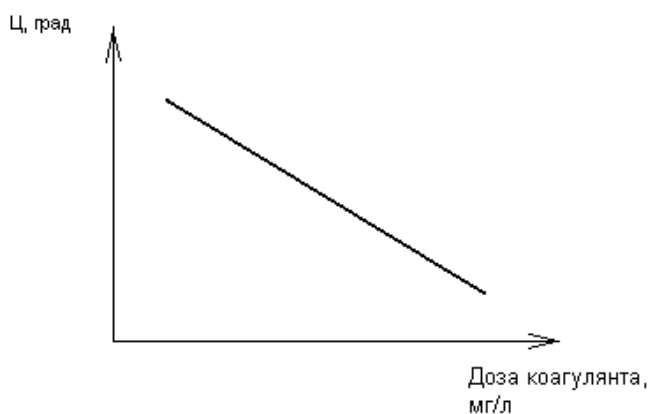
3. Заполнить 6 колб исходной водой по 100 мл, в которые ввести по схеме коагулянт:

№ колбы	1	2	3	4	5	6
Доза коагулянта, мг/л						
Объём раствора коагулянта, мл						

4. Отстоянную в течение 30 минут воду отфильтровать через бумажный фильтр и определить остаточную цветность.

5. Результаты оформить в виде таблицы и построить график.

№ п/п	Коагулянт		Цветность, град.	
	Доза, мг/л	Объем, мл	Исходная	После очистки
1				
2				
3				
4				
5				
6				



Лабораторная работа №2.

#Практический раздел

Флокулянты – это растворимые в воде высокомолекулярные вещества, которые применяются для отделения твердой фазы от жидкости. Они образуют с находящимися в воде грубодисперсными и коллоидными частицами трехмерные структуры (агрегаты, хлопья, комплексы). Обычно флокулянты применяют совместно с коагулянтами. По своему составу флокулянты подразделяют на минеральные и органические. Из минеральных флокулянтов широкое распространение получила активированная кремнекислота (АК), поскольку она абсолютно безвредна для здоровья человека.

Наиболее широкое распространение получил органический флокулянт Полиакриламид (ПАА), который используется совместно с коагулянтами. ПАА рекомендуется дозировать в воду в виде раствора концентрацией от 0,1% до 1,0% согласно СН 4.01.01-2019 (9.3.16).

Таблица 1. Выбор дозы коагулянта при обработке мутных вод
(по таблице 9.1 СН 4.01.01-2019)

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/л
До 100	25 – 35
Св. 100 до 200	30 – 40
“ 200 “ 400	35 – 45
“ 400 “ 600	45 – 50
“ 600 “ 800	50 – 60
“ 800 “ 1000	60 – 70
“ 1000 “ 1500	70 – 80

Ход работы: Воду налить до метки в 10 мерных цилиндров и ввести пипеткой раствор сульфата алюминия в количестве, соответствующем оптимальной дозе коагулянта (см. таблицу 1). Содержимое всех цилиндров перемешать, быстро вращая палочку в течение 15-20 секунд, а затем медленно в течение 3-5 минут. После этого в цилиндры ввести раствор ПАА в следующих количествах:

№ цилиндра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество введенного ПАА, % от содержания взвешенных веществ	–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Доза ПАА, соответствующая его процентному содержанию, мг/л										

Пробы с флокулянтom опять перемешать трехкратным опрокидыванием закрытых пробкой цилиндров, а затем медленно перемешивать в течение 3–5 минут стеклянной палочкой (30-40 об/мин) и оставить в покое. При отстаивании воды в цилиндрах отметить начало образования и начало осаждения хлопьев, их вид. Через 30 минут, не взмучивая осадка, из каждого цилиндра пипеткой или сифоном из верхнего слоя воды отобрать пробы по 100 мл. В пробах определить содержание взвешенных веществ и цветность. По полученным данным установить наименьшую дозу ПАА (в мг/л), необходимую для снижения содержания взвешенных веществ в воде до 10 мг/л. Результаты проведенных опытов занести в таблицу.

№ цилиндра	Доза серники слога алюминия, мг/л	Доза ПАА, мг/л	Начало образования хлопьев, мин	Начало осаждения, мин.	Мутность, мг/л		Цветность, град.	
					Исходной воды	Остаточная	Исходной воды	Остаточная
1	2	3	4	5	6	7	8	9

По результатам опытов построить графики зависимости остаточной мутности и цветности воды от дозы ПАА.

Лабораторная работа №4.

#Практический раздел

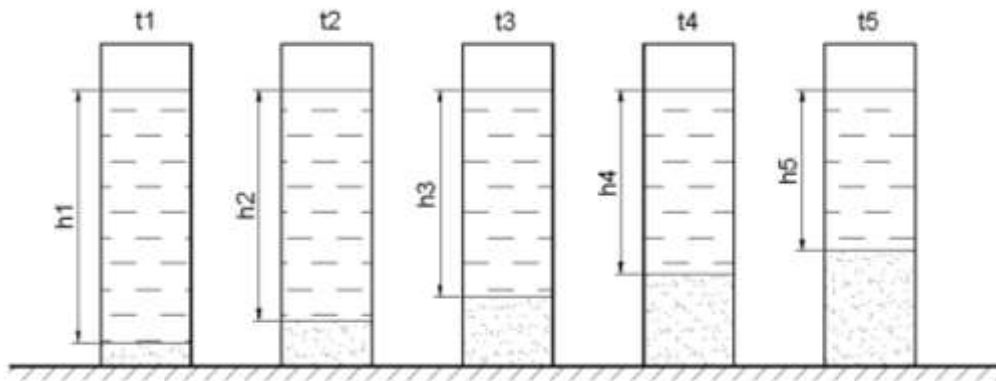
Построение кривых осаждаемости взвеси, обработанной и необработанной коагулянтom

Цель работы: Построить кривые осаждаемости взвеси, обработанной и необработанной коагулянтom

Основная масса взвешенных в воде веществ и скоагулированных хлопьев удаляется их отстаиванием. Осаждение взвешенных веществ происходит под действием силы тяжести. Скорость осаждения частиц зависит от формы, размеров и разности плотностей частиц и воды. Взвешенные вещества природных вод и скоагулированные хлопья состоят из частиц неодинакового размера, формы и плотности.

В лабораторных условиях имитируют процесс осаждения взвеси при различных продолжительностях отстаивания, контролируя при этом количество взвеси, оседающей за различные периоды времени и эффект осветления.

$$t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_5$$



$h_1, h_2 \dots h_5$ – высота слоя воды.

$$U_1 = \frac{h_1}{t_1} ; U_2 = \frac{h_2}{t_2} \text{ и т.д.}$$

$u_1, u_2 \dots u_5$ – «процентные» скорости выпадения взвеси.

Ход работы:

1. Исследуемую воду наливают до метки в пять мерных цилиндров емкостью 250 мл и отстаивают (отметив начало отстаивания). Через 5 минут в первом цилиндре верхний слой воды сливают на глубину h и определяют в этой пробе содержание взвешенных веществ. В остальных цилиндрах пробы на анализ отбирают аналогичным образом через 10, 20, 30, 40 минут. Количество взвеси M_t (%), выпавшей за время t , определяют по формуле:

$$M_t = \frac{C_0 - C}{C_0} 100, \%$$

где C_0, C – концентрация взвешенных веществ соответственно в исследуемой воде и в пробе воды через t минут отстаивания, мг/л.

Результаты исследований заносятся в таблицу.

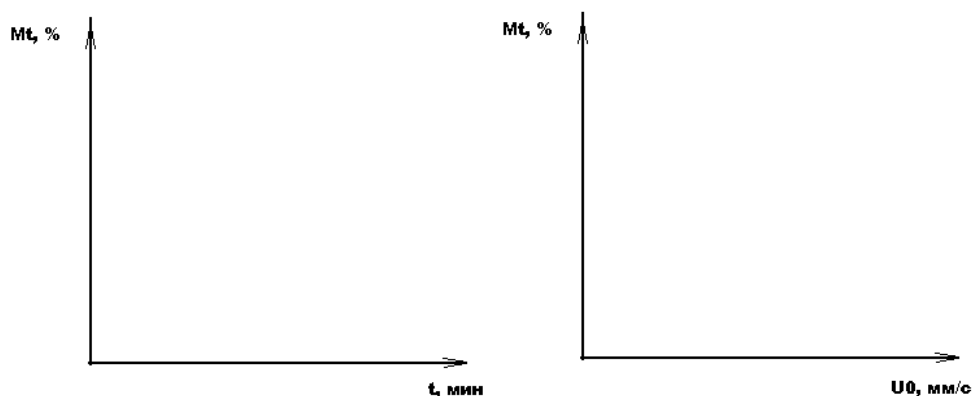
№ цилиндра	Время отстаивания, t , мин.	Содержание взвешенных веществ, мг/л		Количество выпавшей взвеси (эффект осветления), %	Скорость осаждения взвеси, u_i мм/с
		в исходной воды	в пробе после отстаивания		
1	5				
2	10				
3	20				
4	30				
5	40				

Скорость осаждения взвеси определяется по формуле:

$$U_0 = \frac{h}{t}, \text{ мм/с}$$

где h – глубина слоя сливаемой воды, мм; t – время отстаивания, с.

По вычисленным данным строят графики зависимости количества выпавшей взвеси $M_t, \%$, от времени отстаивания $t, \text{мин}$, и скорости осаждения взвеси u_i .



2. Исходную воду наливают в 5 мерных цилиндров, добавляют раствор коагулянта в объеме, соответствующем дозе, определенной исходя из исходного количества взвешенных веществ. Далее – см. п. 1.

Лабораторная работа №5.

#Практический раздел

Ситовой анализ фильтрующих загрузок

Цель работы:

1. Выполнить ситовой анализ фильтрующих загрузок.
2. Определить для изученных типов фильтрующих загрузок эквивалентный диаметр зерен и коэффициент неоднородности.

Нормальная работа фильтра во многом зависит от правильно выбранной фильтрующей загрузки. При выборе загрузки учитывают ее стоимость и возможность получения в районе строительства водоочистной станции. Кроме того, обязательно проверяют соответствие загрузки техническим требованиям (фракционный состав, однородность размеров ее зерен, механическая прочность и химическая стойкость).

В качестве фильтрующих материалов для зернистых фильтров в настоящее время применяют кварцевый песок (речной или карьерный), дробленые кварц и антрацит, мрамор, магнетит, керамическую крошку, керамзит, аглопорит. По крупности зерен они разделяются на мелкозернистые (менее 0,4 мм), среднезернистые (0,4–0,8 мм) и крупнозернистые (более 0,8 мм). Загрузка фильтров может быть однослойной и многослойной.

Отклонение фракционного состава и однородности загрузки от проектных данных может нарушить работу фильтра и может вывести его из строя. При размере зерен загрузки больше предусмотренного проектом может происходить снижение качества осветления воды. Применение более мелких фракций загрузки приводит к уменьшению межпромывочного периода работы фильтра, перерасходу промывной воды и удорожанию эксплуатационной стоимости очистки воды.

Гранулометрический состав фильтрующих материалов в технологии очистки воды определяют ситовым анализом: измельченный материал просеивают через подобранный набор сит с различной величиной отверстий в каждом.

Ход работы:

1. На технических весах отвесить по 200 г кварцевого песка и кремниевого камня.
2. Навеску поместить на верхнее сито набора сит и просеивать в течение 3–5 мин.
3. Остатки загрузки на ситах взвесить на технических весах, массы занести в таблицу.

Калибр сита d_k , мм	Осталось фильтрующего материала на ситах				Прошло фильтрующего материала через сита			
	Кварцевый песок		Кремниевый камень		Кварцевый песок		Кремниевый камень	
	г	%	г	%	г	%	г	%
7								
5,5								
5								
4,5								
3,75								
3,25								
3								
2,5								
2								
1								
0,5								
остаток								
	Σ200	Σ100	Σ200	Σ100				

4. Построить графики зависимостей количества фильтрующего материала, %, прошедшего через сита от калибра сита.
5. Определить эквивалентный диаметр зерен фильтрующей загрузки.

$$d_{\text{ЭКВ}} = \frac{100}{\sum \left(\frac{P_i}{d_k} \right)}, \text{ мм}$$

где P_i – остаток песка на сите, %; d_k – калибр сита, мм.

6. Определить коэффициент неоднородности:

$$k_H = \frac{d_{80}}{d_{10}}$$

где d_{80} – диаметр частиц песка, меньше которых в фильтрующей загрузке содержится 80 % по массе, мм (по графику); d_{10} – диаметр частиц песка, меньше которых в фильтрующей загрузке содержится 10 % по массе, мм (по графику).

Наименование	Минимальный	Максимальный	Эквивалентный	Коэффициент
--------------	-------------	--------------	---------------	-------------

фильтрующей загрузки	диаметр зерен, мм	диаметр зерен, мм	диаметр зерен, мм	неоднородности
Кварцевый песок				
Кремниевый камень				

Лабораторная работа №6

#Практический раздел

Определение оптимальной дозы хлорсодержащего реагента для обеззараживания воды различного качества. Определение показателей хлорируемости воды, хлорпотребности и хлорпоглощаемости воды.

Цель работы: Определить пробным хлорированием расчетную дозу хлорсодержащего реагента для исследуемой воды и рассчитать ее хлорпотребности и хлорпоглощаемость.

Поведение природной воды при нормальной хлорировании характеризуется показателем хлорируемости воды, представляющим собой дробь, выражающуюся отношением единицы к наибольшей дозе вводимого хлора (в мг/л), при которой вода, обрабатываемая в течение 30 минут, содержит 0,5 мг/л остаточного хлора.

По этому показателю устанавливают степень загрязнения воды различными примесями: чем чище вода, тем он больше. С увеличением загрязнения воды (хлорпоглощаемости) возрастает и доза вводимого хлора, которая должна обеспечить содержание в воде 0,5 мг/л остаточного хлора. Следовательно, показатель хлорируемости уменьшается.

Для определения показателя хлорируемости воды устанавливают зависимость количества остаточного хлора при 30-минутном контакте с хлором.

Ход определения:

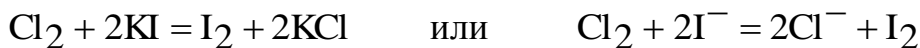
В восемь плоскодонных колб наливают пипеткой по 100 мл исследуемой воды и последовательно в каждую из них с интервалом в 4 минуты приливают пипеткой хлорную воду, содержащую 0,1 мг/мл активного хлора, в следующих количествах:

№ колбы	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество хлорной воды, мл	0,5	1	1,5	2	2,5	3	5	10
Доза хлора, соответствующая данному объему хлорной воды, мг/л	0,5	1	1,5	2	2,5	3	5	10

Колбы взбалтывают и закрывают пробками. Поскольку время обработки воды хлором во всех колбах должно быть равно 30 минутам, то через 2 минуты после приливания раствора хлорной воды в последнюю (восьмую) колбу

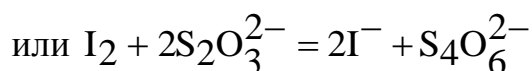
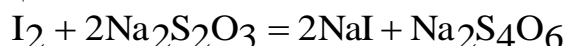
приступают к определению остаточного хлора в первой колбе. В каждой последующей колбе остаточный хлор определяют через 4 минуты.

Для того чтобы установить количество остаточного хлора в воде, к 100 мл исследуемой воды добавляют 5 мл 10%-ного раствора иодида калия, 5 мл буферной смеси с pH=4,6 и 1 мл 1%-ного раствора крахмала. При наличии активного хлора раствор окрашивается в синий цвет, так как хлор вытесняет свободный иод из иодида калия:



(выделившийся иод окрашивает воду в синий цвет).

Затем к раствору прибавляют по каплям из бюретки 0,005 н. раствор тиосульфата натрия до обесцвечивания раствора. При этом протекает следующая реакция:



Раствор обесцвечивается, когда весь иод связывается тиосульфатом натрия. Иодид натрия и тетраионат натрия, образующиеся в результате реакции, крахмал не окрашивают.

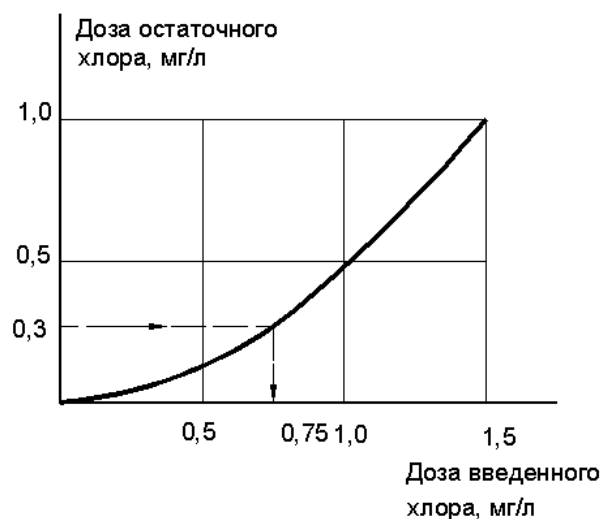
Содержание активного хлора вычисляют по формуле:

$$X_{\text{Cl}} = \frac{35,5 \cdot V_1 N \cdot 1000}{V_2}, \text{ мг/л}$$

где V_1 – объем раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование исследуемой воды, мл; N – нормальность раствора тиосульфата натрия, V_2 – объем исследуемой воды, взятой для титрования, мл; 35,5 – миллиграмм-эквивалент хлора.

По полученным данным строят график в следующих координатах: доза хлора – остаточный хлор. По графику находят дозу введенного хлора, обеспечивающего концентрацию 0,5 мг/л остаточного хлора, и вычисляют показатель хлорируемости воды. Результаты определения записывают в виде таблицы:

№ колбы	Доза введенного хлора, мг/л	Количество остаточного хлора, мг/л	Показатель хлорируемости воды
1	2	3	4



Лабораторная работа №7

#Практический раздел

Обезжелезивание подземных вод упрощённой аэрацией с применением различных фильтрующих материалов

Цель работы: Дать оценку возможности и эффективности обезжелезивания подземных вод.

При обезжелезивании подземных вод, содержащих железо (II), чаще всего используют метод аэрирования.

Чтобы установить рациональный метод удаления из воды железа, вначале проводят пробное обезжелезивание, предварительно определив мутность, цветность, содержание железа (II) и (III), сероводорода, общую и карбонатную жесткость, pH, окисляемость, количество хлоридов и сульфатов.

Метод упрощенной аэрации применяется для обезжелезивания подземных вод, в которых содержится: до 10 мг/л железа (II) и железа (III), в том числе железа (II) – не менее 70%; pH – не менее 6,8; щелочность воды – более 2 ммоль/дм³; содержание сероводорода – не более 0,5 мг/л, содержание аммония – до 1,5 мг/дм³; содержание метана – до 0,5 мг/дм³ в соответствии СН 4.01.01-2019 (9.12.1.2).

Обезжелезиваемая вода, обогащенная кислородом в результате аэрации, направляется на фильтр. Реакция окисления железа (II) происходит в толще фильтрующего слоя.

Осадок гидроксида железа в толще фильтрующего слоя каталитически влияет на скорость окисления железа (II) кислородом.

Ход работы:

1. Построить калибровочный график на железо.

В мерные колбы емкостью 50 мл отмерить 0–0,5–1–2–3–4–5 мл рабочего стандартного раствора железоаммонийных квасцов и довести объем дистиллированной водой до метки. Содержание железа в серии стандартных

растворов составляет 0–0,1–0,2–0,4–0,6–0,8–1 мг/л. Добавив к стандартным растворам 1 мл раствора соляной кислоты (1:1) и несколько кристаллов персульфата аммония, содержимое перемешивают.

После перемешивания в колбы вводят по 1 мл 50%-го раствора роданида калия, и, снова перемешав, определяют оптическую плотность раствора, после чего строят калибровочный график зависимости оптической плотности от концентраций железа в мг/л. При измерении интенсивности окраски в фотоэлектроколориметре применяют сине-зеленый светофильтр (длина волны 500 нм) и кюветы с толщиной рабочего слоя 2-5 см.

2. Провести пробное обезжелезивание воды упрощенной аэрацией. Для этого исследуемую воду пропустить через аэрационную установку и определить содержание железа.

Ход определения: В мерную колбу наливают до метки исследуемую воду и, добавив 1 мл раствора соляной кислоты (1:1) и несколько кристаллов персульфата аммония, содержимое перемешивают. Затем вводят 1 мл 50%-го раствора роданида калия. После перемешивания сразу же измеряют оптическую плотность и по калибровочному графику находят соответствующую ей величину железа. Содержание железа определяют по формуле:

$$X_{\text{Fe}} = \frac{C \cdot 50}{V}, \text{ мг/л}$$

где C – концентрация железа, найденная по калибровочному графику, мг/л; V – объем пробы, взятой для определения, мл.

Результаты исследований заносятся в таблицу.

№ цилиндра	Доза коагулянта, мг/л	Содержание железа в воде, мг/л	
		в исходной воде	в воде после фильтрация
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		

2.3 Требования и рекомендации к выполнению курсового проекта

#Практический раздел

Курсовой проект выполняется на тему «Станция водоподготовки в системе питьевого водоснабжения». Методические рекомендации для выполнения курсового проекта приведены в практическом разделе.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки (40-50 стр.) и графического материала (1 лист формата А1 и 1 лист формата А2). В состав пояснительной записки входят следующие разделы: анализ качества воды в поверхностном источнике водоснабжения; выбор методов обработки воды и разработка технологической схемы в зависимости от требований водопотребителей; выполнение гидравлических и технологических расчетов по всем сооружениям технологической схемы (смесители, отстойники, осветлители со слоем взвешенного осадка, камеры хлопьеобразования, фильтровальные сооружения); расчет и проектирование сооружений и оборудования для приготовления реагентов (коагулянта, флокулянта, извести); расчет и проектирование сооружений для обработки промывных вод от фильтров или контактных осветлителей; расчет и проектирование сооружений по обеззараживанию воды, дезодорации (при необходимости).

Графический материал включает: технологическую схему станции водоподготовки, компоновочный план здания водоподготовки в масштабе 1:200; генплан площадки водоочистного комплекса с сетями водоснабжения и водоотведения в масштабе 1:500 или 1:1000, чертёж одного из сооружений (план и разрезы) по указанию руководителя проекта.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

#Структура

3.1 Вопросы к экзамену по учебной дисциплине «Водоподготовка»

1. Характеристика источников водоснабжения.
2. Состав примесей природных вод.
3. Требования к качеству природных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения.
4. Классификация примесей воды по фазово-дисперсному состоянию, по химическому составу.
5. Классификация методов обработки воды. Критерий выбора методов очистки.
6. Классификация основных технологических схем водоподготовки. Пример технологической схемы подготовки воды (из поверхностного источника водоснабжения).
7. Составление высотной схемы водоочистой станции. Показать на примере.
8. Физико-химические основы процесса коагуляции. Схематическое изображение мицеллы золя гидроксида железа 3-х валентного с положительно заряженной частицей.
9. Коагулянты и флокулянты, применяемые в технологии очистки природных вод. Их свойства.
10. Регулирование оптимальных условий коагуляции. Факторы, влияющие на процесс коагуляции.
11. Методы интенсификации процесса коагуляции.
12. Электрохимическое коагулирование примесей воды (электрокоагуляция).
13. Разработка технологии приготовления и дозирования раствора коагулянта (мокрое и сухое хранение). Расчет дозы коагулянта.
14. Разработка технологии приготовления и дозирования раствора флокулянта. Расчет дозы флокулянта.
15. Разработка технологии приготовления подщелачивающего реагента. Расчет дозы подщелачивающего реагента.
16. Классификация смесительных устройств и область их применения. Смешение растворов реагентов в трубопроводе.
17. Конструкция и проектирование шайбового смесителя, вертикального (вихревого) смесителя.
18. Конструкция и проектирование дырчатого смесителя, перегородчатого смесителя.
19. Конструкция и проектирование коридорного смесителя. Смешение растворов реагентов в трубопроводе.
20. Предварительная обработка воды фильтрованием на микрофильтрах. Основы процесса.
21. Предварительное фильтрование воды через сетки, ткани, пористые

элементы. Основы процесса. Барабанные сетки.

22. Осветление воды в поле центробежных сил. Гидроциклоны.

23. Удаление примесей воды флотацией.

24. Назначение камер хлопьеобразования, область их применения.

Конструкция и проектирование вертикальной (вихревой) камеры хлопьеобразования.

25. Конструкция и проектирование перегородчатых камер хлопьеобразования (с вертикальной и с горизонтальной циркуляцией воды).

26. Конструкция и проектирование контактной камеры хлопьеобразования.

27. Конструкция и проектирование водоворотной камеры хлопьеобразования, совмещенной с вертикальным отстойником.

28. Конструкция и проектирование камеры хлопьеобразования зашламленного типа, совмещенной с горизонтальным отстойником.

29. Теоретические основы процесса осаждения примесей воды в отстойнике.

30. Технологическое моделирование процесса осаждения примесей воды в отстойнике.

31. Методика построения кривых осаждаемости взвеси.

32. Конструкция и проектирование горизонтальных отстойников.

33. Конструкция и проектирование вертикальных отстойников.

34. Конструкция и проектирование коридорного осветлителя со слоем взвешенного осадка.

35. Теоретические основы процесса осветления воды в слое взвешенного осадка.

36. Классификация фильтров по принципу действия; по виду фильтрующей среды. Классификация зернистых фильтров по скорости фильтрования; по давлению, под которым они работают; по направлению фильтрующего потока; по крупности фильтрующего материала; по количеству фильтрующих слоев.

37. Конструкция и проектирование скорого безнапорного осветлительного фильтра с боковым сборным карманом (каналом).

38. Конструкция и проектирование скорого безнапорного осветлительного фильтра с центральным сборным карманом (каналом).

39. Теоретические основы фильтрования воды через зернистые материалы (теория фильтрования Д. М. Минца).

40. Оптимизация режима фильтрования.

41. Конструкция и проектирование скорого напорного фильтра с колпачковым дренажем.

42. Конструкция и проектирование скорого напорного фильтра с трубчатым дренажем.

43. Сущность теории промывки фильтров, разработанная Минцем и Шубертом.

44. Крупнозернистые (грубозернистые) фильтры.

45. Скорые двух-поточные фильтры АКХ (фильтры академии коммунального хозяйства).

46. Конструкции двухслойных фильтров.

47. Сверхскоростные фильтры.

48. Медленные фильтры.
49. Намывные фильтры.
50. Теоретические основы контактной коагуляции.
51. Конструкция и проектирование контактного фильтра КФ-5 и контактного осветлителя КО-1 со сборным желобом.
52. Классификация контактных осветлителей. Конструкция и проектирование контактного осветлителя КО-3 с пескоулавливающим желобом.
53. Контроль за процессом обеззараживания воды. Классификация методов обеззараживания.
54. Характеристика хлорсодержащих реагентов, применяемых для обеззараживания хлорированием.
55. Химизм хлорирования воды газообразным хлором. Хлорпоглощаемость.
56. Установки, применяемые для хлорирования воды.
57. Обеззараживание воды озонированием.
58. Конструкции озонаторов
59. Обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами.
60. Обеззараживание воды ультразвуковыми колебаниями.
61. Формы содержания железа в подземных и поверхностных источниках водоснабжения.
62. Обезжелезивание методом упрощенной аэрации с последующим фильтрованием через зернистую загрузку осветлительных фильтров.
63. Обезжелезивание методом глубокой аэрации (с применением градирни) с последующим фильтрованием через зернистую загрузку осветлительных фильтров.
64. Безреагентные методы обезжелезивания: фильтрование на каркасных фильтрах; метод «сухой» фильтрации.
65. Обезжелезивание воды методом фильтрации в подземных условиях (в пласте) – метод Виредокс.
66. Реагентные методы обезжелезивания подземных вод (обработка окислителями, фильтрование воды через модифицированную загрузку).
67. Формы содержания марганца в воде. Методы удаления из воды марганца.
68. Общие сведения и методы дезодорации. Окислительные методы дезодорации.
69. Адсорбционные методы дезодорации. Адсорбционные фильтры.
70. Методы фторирования воды. Схема фтораторной установки сатураторного типа.
71. Методы обесфторивания воды. Схема установки для сорбционного обесфторивания воды.
72. Сооружения по очистке и повторному использованию промывных вод после промывки фильтров.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

#Структура

4.1 Учебная программа дисциплины «Водоподготовка»

для специальности:

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор БрГТУ

М.В.Нерода

« 29 » 12 2022 г.

Регистрационный № УД-22-2-023 /уч.

Водоподготовка

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине
для специальности:

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

2022 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-70 04 03-2019, утвержденного постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 83 от 26.06.2019 г., и учебных планов специальности.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Г.А. Волкова, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, канд. техн. наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Новосельцев В.Г., заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции учреждения образования «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент

С.А. Новик, главный специалист отдела комплексного проектирования № 2 УП «Институт Брестстройпроект», магистр технических наук

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов
Заведующий кафедрой _____ канд. техн. наук, доцент С.Г. Белов,
(протокол № 2 от 19.10.2022);

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии

Председатель методической комиссии _____ канд. техн. наук, доцент О.П. Мешик,
(протокол № 3 от 24.11.2022);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № 3 от 29.12.2022).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины.

Дисциплина «Водоподготовка» является основной профессиональной подготовки специалистов по специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». «Водоподготовка» – инженерная дисциплина, в которой изучаются современные методы проектирования и расчёта сооружений для очистки воды, используемой для питьевого водоснабжения.

Целью преподавания учебной дисциплины является обучение будущих специалистов теоретическим основам процессов корректировки качества природных вод с целью использования их в системах коммунального водоснабжения. Студенты должны изучить область применения, назначение, принцип действия и физико-химические основы работы сооружений водоподготовки, овладеть теоретическими основами их расчета и проектирования.

Задачи учебной дисциплины:

В результате изучения учебной дисциплины студенты должны развить навыки в решении проблем проектирования и эксплуатации сооружений водоподготовки, приобрести глубокие знания по вопросам механизма течения процессов водоподготовки при кондиционировании качества природных вод.

Специалист, освоивший содержание образовательной программы по специальности, должен обладать следующими базовыми профессиональными компетенциями в соответствии с ОСВО 1-70 04 03-2019:

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- требования, предъявляемые к качеству питьевой и технической воды;
- физико-химические основы процесса коагуляции примесей природных вод;
- теоретические основы процесса смешения реагентов с водой;
- теоретические основы процесса осветления воды осаждением;
- теоретические основы осветления примесей воды в слое взвешенного осадка;
- теоретические основы фильтрования и контактной коагуляции;
- современные технологии обеззараживания поверхностных и подземных вод;
- методы дезодорации воды;
- методы удаления из воды железа и марганца;
- технологии фторирования и обесфторивания воды;

уметь:

– выбирать методы обработки воды и разрабатывать технологические схемы для источников водоснабжения различного качества и в зависимости от требований потребителя; определять полную производительность водоочистных станций, разрабатывать высотную схему движения воды по сооружениям;

– производить расчеты сооружений блока реагентного хозяйства, определять оптимальные дозы реагентов, обладать навыками проектирования и технологического расчета всех сооружений технологической схемы;

– составлять компоновочный план здания водоподготовки, генплан площадки очистных сооружений;

– совершенствовать свои знания и навыки в процессе профессиональной деятельности на основе самостоятельного изучения научно-технических достижений в области технологии очистки природных вод;

владеть:

– навыками использования в своей деятельности технических нормативных правовых актов (ТНПА);

– приемами оформления проектной изыскательской документации;

– основами современных методов проектирования и расчета сооружений водоподготовки;

– навыками использования полученных данных в профессиональной деятельности.

Связи с другими учебными дисциплинами (перечень дисциплин, необходимых для изучения курса «Водоподготовка»): «История развития систем водоснабжения и водоотведения», «Прикладная химия», «Химия воды и микробиология», «Механика жидкости и газа», «Насосные и воздуходувные станции».

Для закрепления теоретического материала предусмотрено проведение практических занятий, лабораторных работ по всем ключевым темам и выполнение курсового проекта.

В соответствии с учебными планами на изучение учебной дисциплины «Водоподготовка» отводится:

План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70 04 03	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	3	6	240	6	98	48	16	34		60/1,5 з.е.	экзамен, курсовой проект

**План учебной дисциплины для заочной формы получения
высшего образования**

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70 04 03	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	3	6	240	6	24	12	4	8		60/1,5 з.е.	экзамен, курсовой проект

**План учебной дисциплины для заочной сокращённой формы получения
высшего образования**

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70 04 03	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	3	6	240	6	18	6	4	8		60/1,5 з.е.	экзамен, курсовой проект

1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1.1.1. Введение. Цели и задачи изучения дисциплины «Водоподготовка».
Природные воды и требования, предъявляемые к их качеству. Характеристика источников водоснабжения. Требования к качеству очищенных вод.

1.1.2. Выбор технологических схем водоочистки и их классификации.

Оценка эффективности работы традиционных водоочистных сооружений. Основные принципы выбора и интенсификации технологий водоочистки. Выбор технологических схем подготовки поверхностных вод для питьевых целей. Классификация основных технологических схем водоподготовки. Критерии выбора технологической схемы и состава сооружений. Область применения технологий кондиционирования подземных вод. Выбор технологических схем кондиционирования подземных вод.

1.1.3. Коагулирование примесей воды.

Физико-химические основы процесса коагуляции. Регулирование оптимальных условий коагуляции. Методы интенсификации процесса коагуляции. Характеристика коагулянтов и флокулянтов, применяемых при водоподготовке. Расчет оптимальных доз реагентов. Электрохимическое коагулирование.

1.1.4. Хранение, приготовление, дозирование растворов реагентов (коагулянта, флокулянта, известкового молока). Определение доз реагентов.

1.2.5. Смещение реагентов с водой.

Теоретические основы процесса, классификация смесительных устройств, их конструкции, расчет и нормы их проектирования.

1.2.6. Камеры хлопьеобразования в системах водоподготовки.

Область их применения, конструкции и расчет, нормы проектирования.

1.2.7. Сооружения и установки для безреагентной очистки воды.

Обработка воды фильтрованием через сетки, ткани и пористые элементы. Основы процесса, классификация аппаратов, микро- и макрофильтрование. Осветление воды в гидроциклонах. Основы процесса, конструкции аппаратов.

1.2.8. Осветление воды осаждением.

Теоретические основы осаждения взвеси. Конструкции отстойников, область их применения, проектирование и расчет. Интенсификация процесса осаждения взвеси. Проектирование тонкослойных отстойников.

1.2.9. Осветление воды в слое взвешенного осадка.

Теоретические основы процесса, конструкция осветлителя со слоем взвешенного осадка.

1.2.10. Осветление воды фильтрованием.

Классификация фильтровальных аппаратов. Теоретические основы фильтрования. Теория фильтрования Д.М.Минца. Зернистые фильтрующие загрузки, их основные характеристики. Подбор фильтрующей загрузки для однослойных скорых фильтров. Расчет распределительной системы фильтра. Расчет устройства для сбора и отвода воды при промывке. Сетчатые фильтры. Барабанные сетки, микрофильтры. Предварительные фильтры. Крупнозернистые фильтры. Намывные фильтры. Медленные фильтры. Скорые фильтры с двухслойной загрузкой. Фильтры конструкции АКХ. Фильтры с плавающей загрузкой. Скорые напорные фильтры. Двухслойные фильтры. Сверхскоростные фильтры.

1.1.11. Осветление воды контактной коагуляцией.

Теоретические основы контактной коагуляции. Конструкции контактных осветлителей, их проектирование и расчет. Контактные фильтры.

1.1.12. Обеззараживание поверхностных и подземных вод.

Основные виды патогенной микрофлоры. Современные технологии обеззараживания питьевой воды. Классификация методов обеззараживания и область их применения. Контроль процесса обеззараживания. Характеристика применяемых реагентов, технологические схемы и конструкции аппаратов, их проектирование и расчет.

1.1.13. Обеззараживание воды хлорированием, озонированием и другими методами.

Технологические схемы хлорирования, озонирования воды. Расчет хлораторных и озонаторных установок. Другие методы обеззараживания воды: ультрафиолетовое облучение, воздействие ионами серебра (олигодинамия), применение окислителей, применение ультразвука.

1.1.14. Дезодорация воды.

Классификация методов, характеристика применяемых реагентов, конструкция аппаратов и сооружений. Их расчет и проектирование.

1.1.15. Обезжелезивание воды.

Методы обезжелезивания воды и область их применения. Основы процесса обезжелезивания воды. Схемы установок обезжелезивания природных вод. Обезжелезивание воды методом упрощенной аэрации. Обезжелезивание методом глубокой аэрации. Проектирование и расчет аэрационных сооружений. Расчет доз реагентов для обезжелезивания воды. Фильтры, применяемые для обезжелезивания воды.

1.1.16. Деманганация воды.

Методы удаления из воды марганца. Очистка воды от марганца обработкой перманганатом калия. Удаление марганца при подщелачивании. Удаление марганца при помощи окислителей. Схемы установок для удаления марганца из подземной воды.

1.1.17. Фторирование и обесфторивание воды.

Реагенты, применяемые для фторирования воды. Схемы фтораторных установок. Методы обесфторивания воды. Схема установки для сорбционного обесфторивания воды. Сорбционные фильтры.

1.1.18. Сооружения для повторного использования промывных вод после фильтров. Обработка осадков водопроводных станций.

1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1.2.1. Определение производительности водоочистных станций. Выбор методов обработки воды и разработка технологических схем для источников водоснабжения различного качества и в зависимости от требований потребителя. Разработка высотной схемы движения воды по сооружениям.

1.2.2. Проектирование и расчет сооружений блока реагентного хозяйства. Определение оптимальных доз реагентов: дозы коагулянта, флокулянта, подщелачивающего реагента, хлорсодержащего реагента или озона, фторсодержащего реагента (в зависимости от качества обрабатываемой воды). Расчет сооружений и оборудования для приготовления реагентов. Составление схемы приготовления, хранения и дозирования реагентов. Разработка компоновочного плана станции водоподготовки.

1.2.3. Проектирование и расчет смесителей и камер хлопьеобразования.

1.2.4. Проектирование и расчет отстойников в схемах осветления и обесцвечивания воды.

1.2.5. Проектирование и расчет осветлителей со слоем взвешенного осадка.

1.2.6. Проектирование и расчет фильтров и контактных осветлителей.

1.2.7. Проектирование и расчет сооружений по обеззараживанию воды.

1.2.8. Расчет резервуаров чистой воды. Расчет сооружений для обработки промывных вод от фильтров или от контактных осветлителей.

1.2.9. Разработка генпланов площадки водоочистных комплексов.

1.3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1.3.1. Определение оптимальной дозы коагулянта пробным коагулированием

1.3.2. Влияние щелочности на процесс коагулирования примесей воды

1.3.3. Определение оптимальных доз флокулянта

1.3.4. Построение кривых осаждаемости взвеси, обработанной и необработанной коагулянтом

1.3.5. Ситовой анализ фильтрующих загрузок

1.3.6. Определение оптимальной дозы хлорсодержащего реагента для обеззараживания воды различного качества. Определение показателей хлорируемости воды, хлорпотребности и хлорпоглощаемости воды.

1.3.7. Обезжелезивание подземных вод упрощенной аэрацией с применением различных фильтрующих материалов

2. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Курсовой проект выполняется на тему «Станция водоподготовки в системе питьевого водоснабжения» – 60 (1,5 з.е.).

Курсовой проект состоит из пояснительной записки (40–50 стр.) и графического материала (1 лист формата А1 и 1 лист формата А2). В состав пояснительной записки входят следующие разделы: анализ качества воды в поверхностном источнике водоснабжения; выбор методов обработки воды и разработка технологической схемы в зависимости от требований водопотребителей; выполнение гидравлических и технологических расчетов по всем сооружениям технологической схемы (смесители, отстойники, осветлители со слоем взвешенного осадка, камеры хлопьеобразования, фильтровальные сооружения); расчет и проектирование сооружений и оборудования для приготовления реагентов (коагулянта, флокулянта, извести); расчет и проектирование сооружений для обработки промывных вод от фильтров или контактных осветлителей; расчет и проектирование сооружений по обеззараживанию воды, дезодорации (при необходимости).

Графический материал включает: технологическую схему станции водоподготовки, компоновочный план здания водоподготовки в масштабе 1:200; генплан площадки водоочистного комплекса с сетями водоснабжения и водоотведения в масштабе 1:500 или 1:1000, чертёж одного из сооружений (план и разрезы) по указанию руководителя проекта.

3.1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для дневной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов самостоятельной работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Задачи изучения дисциплины. Природные воды и требования, предъявляемые к их качеству.	2					8	Экзамен, курсовой проект
2	Выбор технологических схем водоочистки и их классификации.	2	4				8	Экзамен, курсовой проект
3	Коагулирование примесей воды.	4			6		6	Экзамен, курсовой проект
4	Хранение, приготовление, дозирование растворов реагентов.	4	8				10	Экзамен, курсовой проект
5	Смешение реагентов с водой.	2	2				6	Экзамен, курсовой проект
6	Камеры хлопьеобразования в системах водоподготовки.	2	2				6	Экзамен, курсовой проект
7	Сооружения и установки для безреагентной очистки воды.	2					6	Экзамен
8	Осветление воды осаднением.	2	2		4		10	Экзамен, курсовой проект
9	Осветление воды в слое взвешенного осадка.	4	2				8	Экзамен, курсовой проект
10	Осветление воды фильтрованием.	6	4		2		10	Экзамен, курсовой проект
11	Осветление воды	2					6	Экзамен

	контактной коагуляцией.							
12	Обеззараживание поверхностных и подземных вод.	2	2		2		10	Экзамен, курсовой проект
13	Обеззараживание воды хлорированием, озонированием и другими методами.	4					10	Экзамен, курсовой проект
14	Дезодорация воды.	2	2				8	Экзамен, курсовой проект
15	Обезжелезивание воды.	2	2		2		6	Экзамен
16	Деманганация воды. Методы удаления из воды марганца.	2					6	Экзамен
17	Фторирование и обесфторивание воды.	2					6	Экзамен
18	Сооружения для повторного использования промывных вод.	2	4				12	Экзамен, курсовой проект
	Итого	48	34		16		142	

3.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов самостоятельной работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Задачи изучения дисциплины. Природные воды и требования, предъявляемые к их качеству.						8	Экзамен
2	Выбор технологических схем водоочистки и их классификации.	2	2				14	Экзамен, курсовой проект
3	Коагулирование примесей воды.	2			2		14	
4	Хранение, приготовление, дозирование растворов реагентов.						16	Экзамен, курсовой проект
5	Смещение реагентов с водой.		2				12	Экзамен, курсовой проект
6	Камеры хлопьеобразования в системах водоподготовки.						12	Экзамен, курсовой проект
7	Сооружения и установки для безреагентной очистки воды.						12	Экзамен
8	Осветление воды осаждением.	2			2		14	Экзамен
9	Осветление воды в слое взвешенного осадка.						10	Экзамен
10	Осветление воды фильтрованием.	2	2				22	Экзамен
11	Осветление контактной коагуляцией. воды						10	Экзамен

12	Обеззараживание поверхностных и подземных вод.	2					12	Экзамен, курсовой проект
13	Обеззараживание воды хлорированием, озонированием и другими методами.						10	Экзамен, курсовой проект
14	Дезодорация воды.						10	Экзамен
15	Обезжелезивание воды.	2	2				10	Экзамен
16	Деманганация воды. Методы удаления из воды марганца.						10	Экзамен
17	Фторирование и обесфторивание воды.						10	Экзамен
18	Сооружения для повторного использования промывных вод.						10	Экзамен, курсовой проект
	Итого	12	8			4	216	

3.3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
 для заочной формы получения высшего образования,
 интегрированная с программами среднего специального образования,
 (сокращенная форма получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов Самостоятельной работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Задачи изучения дисциплины. Природные воды и требования, предъявляемые к их качеству.						8	
2	Выбор технологических схем водоочистки и их классификации.		2				14	
3	Коагулирование примесей воды.				2		14	
4	Хранение, приготовление, дозирование растворов реагентов.						18	
5	Смешение реагентов с водой.		2				12	
6	Камеры хлопьеобразования в системах водоподготовки.						12	
7	Сооружения и установки для безреагентной очистки воды.						12	
8	Осветление воды осаждением.				2		14	
9	Осветление воды в слое взвешенного осадка.						10	
10	Осветление воды		2				24	

	фильтрованием.							
11	Осветление контактной коагуляцией. воды						10	
12	Обеззараживание поверхностных и подземных вод.						12	
13	Обеззараживание воды хлорированием, озонированием и другими методами.						10	
14	Дезодорация воды.						10	
15	Обезжелезивание воды.		2				12	
16	Деманганация воды. Методы удаления из воды марганца.						10	
17	Фторирование и обесфторивание воды.						10	
18	Сооружения для повторного использования промывных вод.						10	
	Итого	6	8		4		222	

4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

4.1.1. СН 4.01.01-2019 Строительные нормы Республики Беларусь «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2019.

4.1.2. СН 2.02.02-2019 Строительные нормы Республики Беларусь «Противопожарное водоснабжение». Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2019.

4.1.3. Пособие П1-2019 «Проектирование сооружений водоподготовки» к ТКП 45-4.01-320–2018, Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2020 г.

4.1.4. СанПиН 10–124 РБ 99. Санитарные правила и нормы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Минздрав РБ, Минск, 1999.

4.1.5. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание 2-ое, переработанное и дополненное. Учебное пособие. Том 1,2,3.–М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2004. – 256 с.

4.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

4.2.1. Методические указания к выполнению курсовых проектов и практических занятий по дисциплине «Водоподготовка» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» дневной и заочной форм обучения. Житенёв Б.Н., Волкова Г.А., Сторожук Н.Ю., Брест, УО БрГТУ, 2015, в 2-х частях.

4.2.2. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. М., Примеры и расчёты. – М., ООО «БАСТЕТ», 2008. – 304 с.

4.2.3. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. Киев, Высшая школа, 1986.

4.2.4. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. – М., Высшая школа, 1984. – 367 с.

4.2.5. Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Водоподготовка» для студентов специальности 1–70 04 03 – «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». Волкова Г.А., Сторожук Н.Ю., Брест, УО БрГТУ, 2008.

4.2.6. Строкач П.П., Кульский Л.А. Практикум по технологии очистки природных вод. Минск, Высшая школа, 1980.

4.2.7. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : Справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М. : БАСТЕТ, 2014. – 382 с.

4.2.8. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 Экологические нормы и правила Республики Беларусь «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности». Утверждены постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т.

4.3. ПЕРЕЧЕНЬ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Для текущего контроля и самоконтроля знаний и умений студентов по данной дисциплине используется следующий диагностический инструментарий:

для очной формы обучения:

- устный опрос на практических занятиях;
- выполнение курсового проекта с его устной защитой;
- внутрисеместровые аттестации в виде контрольного опроса в письменной форме.

для заочной формы обучения:

- устный опрос на практических занятиях;
- выполнение курсового проекта с его устной защитой.

Как форма промежуточного контроля знаний по учебной дисциплине применяется внутрисеместровая аттестация, которая является обязательной для обучающихся дневной формы получения образования. Внутрисеместровые

аттестации проводятся в виде контрольного опроса в письменной форме. В семестре предусмотрены две внутрисеместровые аттестации, весовые коэффициенты всех аттестаций по дисциплине, включая текущую, составляют: $K_{BC1} = 0,35$; $K_{BC2} = 0,35$; $K_{ТЕК} = 0,3$.

4.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Основной учебной работой студента является самостоятельная работа в течение всего срока обучения, которая включает в себя подготовку к лекционным и практическим занятиям, выполнение курсовой проекта, сдачу экзамена. Начинать изучение дисциплины необходимо с ознакомления целей и задач дисциплины, применяя знания и умения, полученные в процессе изучения. Далее следует проработать рекомендуемую литературу, рассмотрев темы лекционных и практических занятий. Все неясные вопросы по дисциплине студент может разрешить на консультациях, проводимых по расписанию.

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1. Химический состав природных вод и факторы, влияющие на его образование
2. Особенности формирования поверхностных вод и их качественный состав
3. Требования к качеству воды хозяйственно-питьевого назначения (микробиологические и паразитологические показатели; обобщённые химические показатели; показатели вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе обработки; органолептические; радиационные).
4. Основные способы химической обработки воды
5. Схемы компоновки водоочистных сооружений
6. Основные сооружения и способы обработки воды (с применением коагулянтов и флокулянтов; и без их применения)
7. Неорганические и органические коагулянты. Их характеристика.
8. Неорганические и органические флокулянты; синтетические и природные; анионные, катионные и неионогенные
9. Реагенты, применяемые для удаления привкусов и запахов
10. Реагенты, применяемые для фторирования воды
11. Дозы реагентов, применяемых для осветления и обесцвечивания воды
12. Схемы реагентного хозяйства. Сухой способ хранения реагентов.
13. Мокрый способ хранения реагентов
14. Дозирование реагентов. Насосы-дозаторы.
15. Блок сооружений для приготовления извести, применяемой при коагулировании воды
16. Блок сооружений для приготовления флокулянта – полиакриламида (ПАА)

17. Технологический процесс и схема установки для приготовления активированной кремниевой кислоты.
18. Блок сооружений для приготовления активированного угля (при углевании воды порошкообразным углем)
19. Смесители гидравлического типа (перегородчатый, дырчатый, вихревой, коридорный, диафрагмовый)
20. Смесители механического типа (мешалки лопастные, пропеллерные, турбинные). Их расчёт и проектирование.
21. Механизм процесса хлопьеобразования, протекающий в камерах хлопьеобразования
22. Проектирование радиальных отстойников
23. Проектирование горизонтальных отстойников с контактной камерой хлопьеобразования
24. Вертикальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками
25. Горизонтальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками
26. Конструктивные параметры тонкослойных элементов в отдельных блоках, устанавливаемых в отстойниках
27. Осветлители с контактной камерой хлопьеобразования
28. Осветлители, оборудованные тонкослойными элементами
29. Осветлители-рециркуляторы (использование в осветлителях с взвешенным осадком метода рециркуляции ранее образовавшегося в сооружении осадка)
30. Сущность процесса фильтрования.
31. Компоновка фильтров на станции водоподготовки (однорядная и двухрядная), размещение технологических и магистрального трубопроводов
32. Дренажные системы скорых фильтров
33. Водовоздушная промывка скорых фильтров
34. Расчёт потерь напора в фильтрах при промывке
35. Установки для промывки фильтров (специальные насосные установки или баки)
36. Принципиальная схема микрофильтров (барабанных сеток) с контактными камерами
37. Интенсификация работы фильтров (подбор фильтрующего материала, увеличение грязеемкости фильтров)
38. Фильтры с плавающей загрузкой
39. Методы обеззараживания воды: ультразвуковыми колебаниями, ультрафиолетовым излучением, ионизирующим излучением
40. Обеззараживание воды сильными окислителями (гипохлорит натрия и кальция, диоксид хлора)
41. Процесс получения озона и дальнейшего использования его для обеззараживания воды
42. Аппараты смешения озono-воздушной смеси с обеззараживаемой водой
43. Расчёт и подбор озонаторного оборудования (озонаторы, компрессоры, влагоотделители, холодильные машины, автоматические блоки сушки и очистки воздуха, воздухохорники атмосферного и осушенного воздуха, аппараты

каталитического разложения озона, контактной камеры)

44. Особенности состава подземных вод, содержащих железо и марганец

45. Расчёт фильтров обезжелезивания воды

46. Применение крупнозернистых фильтров для обезжелезивания воды

47. Обезжелезивание воды в напорных фильтрах. Схема обезжелезивания воды фильтрованием в двух ступенях напорных фильтров.

48. Метод окисления кислородом воздуха с подщелачиванием при одновременном присутствии в воде железа и марганца

49. Обезжелезивание реагентными методами

50. Применение активных углей для удаления марганца из подземных вод сложного состава

51. Удаление из воды марганца фильтрованием через загрузки, обладающее каталитическими свойствами к окислению марганца (глауконит, обладающий ионообменными свойствами, и пирролюзит, в качестве катализатора процесса)

52. Обесфторивание воды методами ионного обмена на селективных в отношении фтора ионитах: активированном оксиде алюминия, гидроксилпатите, сильноосновных анионитах, а также на специально обработанных активированном угле и оксиде магния

53. Резервуары и резервуары-усреднители промывных вод

54. Расчёт и проектирование отстойников промывных вод

55. Накопители, применяемые для обезвоживания и складирования осадка

Перечень вопросов к экзамену

1. Характеристика источников водоснабжения.

2. Состав примесей природных вод.

3. Требования к качеству природных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

4. Классификация примесей воды по фазово-дисперсному состоянию, по химическому составу.

5. Классификация методов обработки воды. Критерий выбора методов очистки.

6. Классификация основных технологических схем водоподготовки. Пример технологической схемы подготовки воды (из поверхностного источника водоснабжения).

7. Составление высотной схемы водоочистой станции. Показать на примере.

8. Физико-химические основы процесса коагуляции. Схематическое изображение мицеллы золя гидроксида железа 3-х валентного с положительно заряженной частицей.

9. Коагулянты и флокулянты, применяемые в технологии очистки природных вод. Их свойства.

10. Регулирование оптимальных условий коагуляции. Факторы, влияющие на процесс коагуляции.

11. Методы интенсификации процесса коагуляции.

12. Электрохимическое коагулирование примесей воды (электрокоагуляция).
13. Разработка технологии приготовления и дозирования раствора коагулянта (мокрое и сухое хранение). Расчет дозы коагулянта.
14. Разработка технологии приготовления и дозирования раствора флокулянта. Расчет дозы флокулянта.
15. Разработка технологии приготовления подщелачивающего реагента. Расчет дозы подщелачивающего реагента.
16. Классификация смесительных устройств и область их применения. Смешение растворов реагентов в трубопроводе.
17. Конструкция и проектирование шайбового смесителя, вертикального (вихревого) смесителя.
18. Конструкция и проектирование дырчатого смесителя, перегородчатого смесителя.
19. Конструкция и проектирование коридорного смесителя. Смешение растворов реагентов в трубопроводе.
20. Предварительная обработка воды фильтрованием на микрофильтрах. Основы процесса.
21. Предварительное фильтрование воды через сетки, ткани, пористые элементы. Основы процесса. Барабанные сетки.
22. Осветление воды в поле центробежных сил. Гидроциклоны.
23. Удаление примесей воды флотацией.
24. Назначение камер хлопьеобразования, область их применения. Конструкция и проектирование вертикальной (вихревой) камеры хлопьеобразования.
25. Конструкция и проектирование перегородчатых камер хлопьеобразования (с вертикальной и с горизонтальной циркуляцией воды).
26. Конструкция и проектирование контактной камеры хлопьеобразования.
27. Конструкция и проектирование водоворотной камеры хлопьеобразования, совмещенной с вертикальным отстойником.
28. Конструкция и проектирование камеры хлопьеобразования зашламленного типа, совмещенной с горизонтальным отстойником.
29. Теоретические основы процесса осаждения примесей воды в отстойнике.
30. Технологическое моделирование процесса осаждения примесей воды в отстойнике.
31. Методика построения кривых осаждаемости взвеси.
32. Конструкция и проектирование горизонтальных отстойников.
33. Конструкция и проектирование вертикальных отстойников.
34. Конструкция и проектирование коридорного осветлителя со слоем взвешенного осадка.
35. Теоретические основы процесса осветления воды в слое взвешенного осадка.
36. Классификация фильтров по принципу действия; по виду фильтрующей среды. Классификация зернистых фильтров по скорости фильтрования; по давлению, под которым они работают; по направлению фильтрующего потока;

по крупности фильтрующего материала; по количеству фильтрующих слоев.

37. Конструкция и проектирование скорого безнапорного осветлительного фильтра с боковым сборным карманом (каналом).

38. Конструкция и проектирование скорого безнапорного осветлительного фильтра с центральным сборным карманом (каналом).

39. Теоретические основы фильтрования воды через зернистые материалы (теория фильтрования Д. М. Минца).

40. Оптимизация режима фильтрования.

41. Конструкция и проектирование скорого напорного фильтра с колпачковым дренажем.

42. Конструкция и проектирование скорого напорного фильтра с трубчатым дренажем.

43. Сущность теории промывки фильтров, разработанная Минцем и Шубергом.

44. Крупнозернистые (грубозернистые) фильтры.

45. Скорые двух-поточные фильтры АКХ (фильтры академии коммунального хозяйства).

46. Конструкции двухслойных фильтров.

47. Сверхскоростные фильтры.

48. Медленные фильтры.

49. Намывные фильтры.

50. Теоретические основы контактной коагуляции.

51. Конструкция и проектирование контактного фильтра КФ-5 и контактного осветлителя КО-1 со сборным желобом.

52. Классификация контактных осветлителей. Конструкция и проектирование контактного осветлителя КО-3 с пескоулавливающим желобом.

53. Контроль за процессом обеззараживания воды. Классификация методов обеззараживания.

54. Характеристика хлорсодержащих реагентов, применяемых для обеззараживания хлорированием.

55. Химизм хлорирования воды газообразным хлором. Хлорпоглощаемость.

56. Установки, применяемые для хлорирования воды.

57. Обеззараживание воды озонированием.

58. Конструкции озонаторов

59. Обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами.

60. Обеззараживание воды ультразвуковыми колебаниями.

61. Формы содержания железа в подземных и поверхностных источниках водоснабжения.

62. Обезжелезивание методом упрощенной аэрации с последующим фильтрованием через зернистую загрузку осветлительных фильтров.

63. Обезжелезивание методом глубокой аэрации (с применением градирни) с последующим фильтрованием через зернистую загрузку осветлительных фильтров.

64. Безреагентные методы обезжелезивания: фильтрование на каркасных фильтрах; метод «сухой» фильтрации.

65. Обезжелезивание воды методом фильтрации в подземных условиях (в пласте) – метод Виредокс.

66. Реагентные методы обезжелезивания подземных вод (обработка окислителями, фильтрование воды через модифицированную загрузку).

67. Формы содержания марганца в воде. Методы удаления из воды марганца.

68. Общие сведения и методы дезодорации. Окислительные методы дезодорации.

69. Адсорбционные методы дезодорации. Адсорбционные фильтры.

70. Методы фторирования воды. Схема фтораторной установки сатураторного типа.

71. Методы обесфторивания воды. Схема установки для сорбционного обесфторивания воды.

72. Сооружения по очистке и повторному использованию промывных вод после промывки фильтров.