Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра строительных конструкций, водоснабжения и водоотведения

ВОДОПРОВОДНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ С ВОПРОСАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Методические указания к практическим занятиям
для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство,
направленность (профиль) Водоснабжение и водоотведение

Составитель Л. Н. Савельева

Рассмотрены и утверждены
на заседании кафедры
Протокол № 6 от 19.01.2021
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления подготовки 08.03.01
Протокол № 5 от 27.01.2021
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2021

Содержание

РАЗДЕЛ 1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЕЕ ОБРАБОТКИ……. 2

Практическая работа №1
Анализ показателей качества природной воды.
Выбор технологической схемы водоподготовки…… 2

РАЗДЕЛ 2. КОАГУЛИРОВАНИЕ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КОАГУЛЯЦИИ…….. 6

Практическая работа №2
Подбор дозы реагентов. Расчет реагентного хозяйства…… 6

Практическая работа №3
Конструирование и расчет смесителей, входных камер, микрофильтров…….. 14

Практическая работа №4
Расчет камер хлопьеобразования……. 24

РАЗДЕЛ 3. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ…….. 29

Практическая работа №5
Расчет сооружений для отстаивания воды (горизонтальные и вертикальные отстойники)…… 29

Практическая работа №6
Расчет сооружений для осветления воды (осветлителей со слоем взвешенного осадка)……. 40

Практическая работа №7
Расчет контактных осветлителей, префильтров……. 46

Практическая работа №8
Фильтровальные сооружения. Конструирование и расчет скорых фильтров. Детальный расчет фильтров……. 63

Практическая работа №9
Расчет сооружений для обеззараживания воды……. 72

Практическая работа №10
Компоновка станции водоподготовки. Схема движения воды по сооружениям……. 83

Форма и сроки текущего контроля…… 88

Приложения…… 89

Список рекомендуемой литературы……... 97

РАЗДЕЛ 1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЕЕ ОБРАБОТКИ

Практическая работа №1
Анализ показателей качества природной воды. Выбор технологической схемы водоподготовки.

Цель работы: научиться производить выбор технологической схемы водоподготовки в зависимости от качества воды в источнике и производительности проектируемой станции водоподготовки.

Порядок выполнения

1. Выбор технологических процессов очистки воды

Выбор метода обработки и состава очистных сооружений производится с учетом требований и рекомендаций:

– СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»;

– СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;

– СП 31.13330.2012. «Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

Воды источников водоснабжения подразделяются:

– в зависимости от расчетной максимальной мутности (ориентировочно количество взвешенных веществ) на:

- маломутные – до 50 мг/л;
- средней мутности – св. 50 до 250 мг/л;
- мутные – св. 250 до 1500 мг/л;
- высокомутные – св. 1500 мг/л;

– в зависимости от расчетного максимального содержания гумусовых веществ, обусловливающих цветность воды, на:

- малоцветные – до 35°;
- средней цветности – св. 35 до 120°;
- высокой цветности – св. 120°.

Оценка качества воды производится по исходным данным (см. прил. 1) в зависимости от варианта. Результаты сопоставления качества исходной воды с нормативами сводятся в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Сопоставление качества исходной воды
и нормативных требований

Наименование показателей качества воды	Значение показателей качества воды		Необходимые технологические процессы очистки воды
	исходные	по нормативу	
1	2	3	4
1. Цветность, град			
2. Мутность, мг/л			
3. Общая жесткость, мг-экв/л			
4. Содержание фтора, мг/л			
5. ОМЧ, КОЕ / 1 мл			
6. Запах и привкус, балл			
7. Общее солесодержание, мг/л			
8. Планктон			

Полную расчетную производительность водопроводной станции водоподготовки определяют как произведение полезной производительности станции водоподготовки на коэффициент, учитывающий расход на воды на собственные нужды станции. Полезная производительность принимается либо по заданию, либо из практических работ по расчету водопроводных сетей.

Расходы воды на собственные нужды станций водоподготовки принимают:

– при повторном использовании промывной воды в размере 3–4 % количества воды, подаваемой потребителям;

– без повторного использования – 10–14 %.

Станцию водоподготовки рассчитывают на равномерную работу в течение суток, причем предусматривают возможность от-

ключения отдельных сооружений для профилактического осмотра, чистки, текущего и капитального ремонта.

2. Выбор общей технологической схемы очистки воды и определение состава основных сооружений

Выбор схемы и определение состава сооружений для удаления взвешенных веществ и обесцвечивания воды производится на основе данных прил. 2. В работе производится расчет по одной из четырех схем:

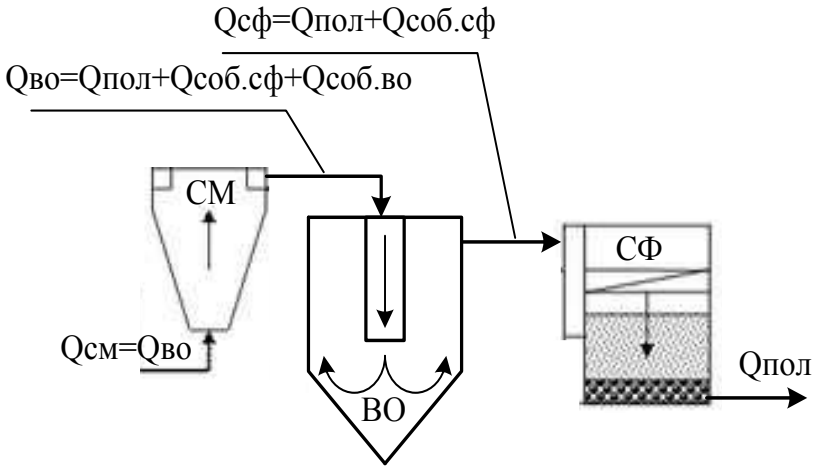

Рис. 1.1. Вертикальные отстойники и скорые фильтры

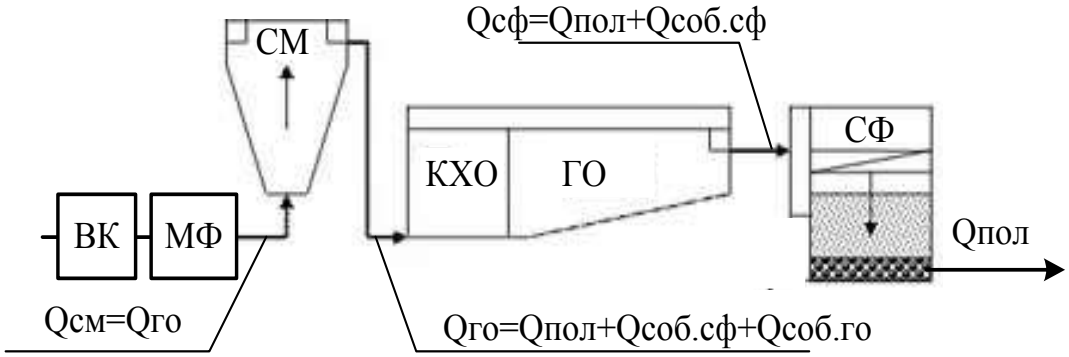

Рис. 1.2. Горизонтальные отстойники и скорые фильтры

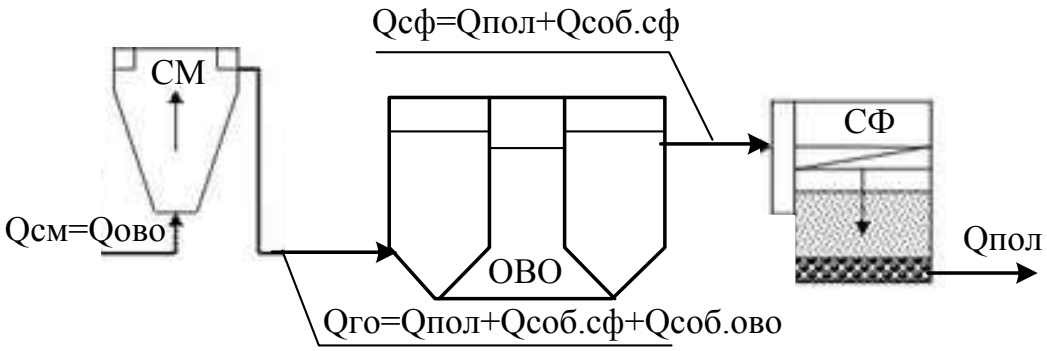

Рис. 1.3. Осветлители со взвешенным осадком

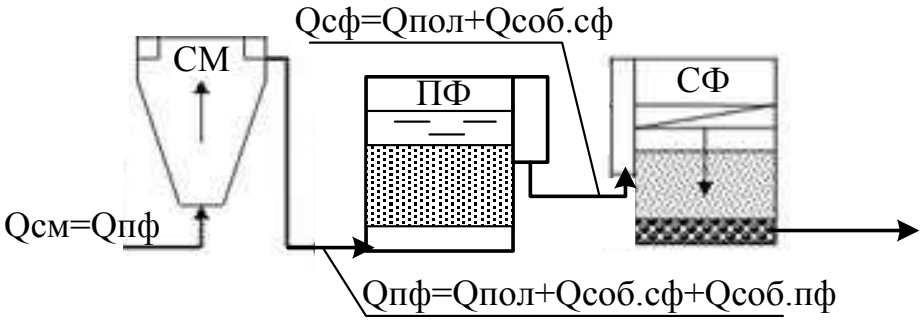

Рис. 1.4. Контактные префильтры и скорые фильтры

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде табличных данных в соответствии с представленной формой и описанием выбранной схемы водоподготовки.

Проверочные вопросы

1. Основные характеристики качества воды поверхностных источников водоснабжения.
2. Критерии мутности и цветности воды.
3. Требования к качеству питьевой воды.
4. Принцип выбора технологической схемы водоподготовки.
5. Принцип выбора состава сооружений.

РАЗДЕЛ 2. КОАГУЛИРОВАНИЕ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КОАГУЛЯЦИИ

Практическая работа № 2
Подбор дозы реагентов. Расчет реагентного хозяйства

Цель работы: научиться производить выбор наиболее эффективных реагентов, их доз. Получить навык подбора основного оборудования реагентного хозяйства и расчета основных узлов приготовления реагентов.

Порядок выполнения

1. Выбор дозы реагентов

В данной работе следует предусмотреть использование реагентов для коагулирования примесей воды ($A1_2(SO_4)_3$, ОХА, $FeCl_3$, ПАА и др.), подщелачивания (сода, известь, аммиачная вода, сульфат аммония), обеззараживание (ГХН – гипохлорит натрия), а при необходимости – для окисления ($KMnO_4$, озон, ГХН) и сорбции (гранулированный и порошкообразный активированный уголь).

Дозы реагентов устанавливаются в соответствии с рекомендациями [1]. Последовательность ввода реагентов и интервал времени между вводом отдельных видов реагентов рекомендуется принимать в соответствии с [1].

На практике дозу коагулянта для обработки воды устанавливают на основании результатов пробного коагулирования. В данной работе ориентировочную дозу коагулянта в зависимости от мутности принимаем по табл. 2.1.

Для ОХА принятую дозу необходимо уменьшить в 6 раз.

Дозу коагулянта для обработки цветных вод определяют по формуле

$$Д_к = 4\sqrt{Ц}, \qquad (2.1)$$

где $Д_к$ – доза коагулянта, мг/л; Ц – цветность обрабатываемой воды, град.

При одновременном содержании в воде взвешенных веществ и цветности принимают большую из определенных доз коагулянта по таблице и формуле (2.1).

Таблица 2.1

Рекомендуемые дозы для коагулянта $A1_2(SO_4)_3$

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/л
<100	25–35
100–200	30–40
200–400	35–45
400–600	45–50
600–800	50–60
800–1000	60–70

При применении контактных осветителей или фильтров, работающих по принципу в зоне фильтрующей загрузки, дозу коагулянта принимают на 10–15 % меньше, чем по таблице и формуле (2.1).

Если щелочность обрабатываемой воды недостаточная, добавляют известь $Ca(OH)_2$ или соду Na_2CO_3, т. е. подщелачивают ее. Дозу подщелачивающих реагентов определяют по формуле

$$Д_щ = К_щ\left(\frac{Д_к}{К_к} - Щ_0\right) + 1, \qquad (2.2)$$

где $Д_щ$ – доза подщелачивающего реагента, мг/л; $Д_к$ – доза коагулянта, мг/л; $К_к$ – эквивалентная масса коагулянта (безводного), принимаемая для $A1_2(SO_4)_3$ – 57 мг/мг-экв, ОХА – 17,45 мг/мг-экв, $FeCl_3$ – 54 мг/мг-экв, $Fe(SO_4)_3$ – 67 мг/мг-экв; $Щ_0$ – минимальная щелочность воды (карбонатная жесткость), мг-экв/л.

В случае получения по формуле (2.2) отрицательной величины подщелачивание воды не требуется.

В дополнение к основным коагулянтам для интенсификации процесса коагуляции применяют флокулянты на основе полиакриламид (ПАА) и активную кремнекислоту. Определение доз флокулянтов производят в соответствии с табл. 2.2.

2. Хранение реагентов

В практике водоподготовки нашли применение следующие схемы приготовления и хранения раствора коагулянта.

Коагулянт хранят на складе в сухом виде. По мере необходимости его загружают в растворные баки, где происходит раствоpe-

ние коагулянта до концентрации раствора 1–17 %. Далее этот раствор подается в расходные баки, где разбавляется до концентрации 4–10 % и дозируется в обрабатываемую воду. Данная схема рекомендуется для станций производительностью менее 30000 м^3/сут.

Таблица 2.2

Подбор дозы флокулянта в зависимости от качества речной воды

Мутность воды, мг/л	Цветность воды, град	Доза безводного ПАА, мг/л
<10	>50	1–1,5
10–100	30–100	0,3–0,6
100–500	20–60	0,2–0,5
500–1500	–	0,2–1

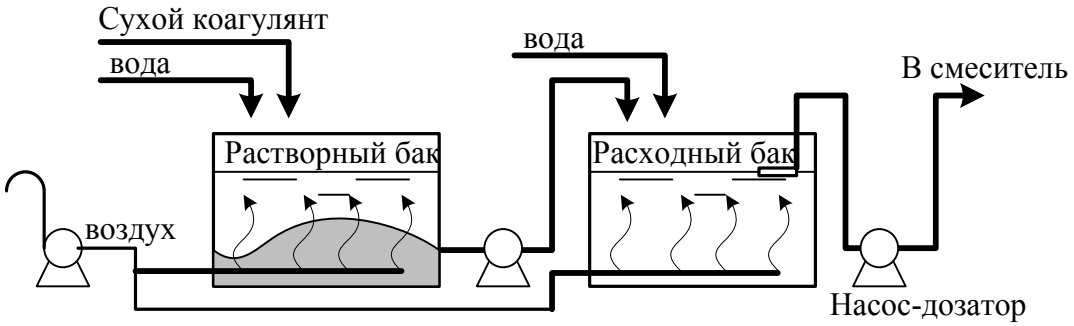

Рис. 2.1. Схема сухого хранения коагулянта

При смешанном, сухо-мокром хранении запас коагулянта хранится в сухом виде на складе. По мере необходимости коагулянт растворяется в баках до концентрации 20–35 %. Затем этот раствор перекачивается в баки-хранилища, расположенные за пределами здания РХ. В период коагуляции концентрированный раствор перекачивается в расходные баки, где разбавляется до 4–10 %. Это рекомендуется для станций любой производительности.

При мокром хранении товарный концентрированный раствор коагулянта закачивается в бак-хранилище, откуда по мере необходимости перекачивается в растворно-расходные баки, где разбавляется до 10 % и далее дозируется в смеситель.

Склады реагентов обычно совмещают с отделениями для приготовления и хранения их растворов. Рассчитывают склады на хранение 30-суточного запаса, считая по периоду максимального потребления реагентов, но не менее объема их разовой поставки.

При обосновании объем складов допускается принимать на другой срок хранения, но не менее 15 сут.

Склад в зависимости от вида реагентов проектируют на сухое или мокрое хранение в виде концентрированного раствора.

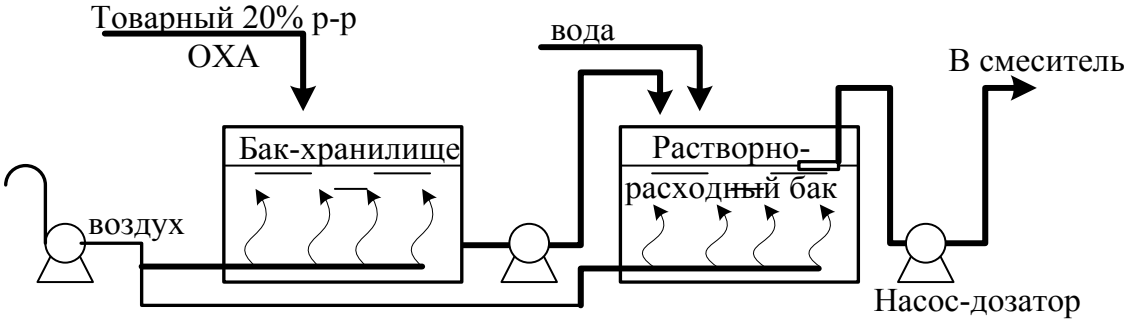

Рис. 2.2. Схема мокрого хранения коагулянта

Определение емкости растворных и расходных баков

Сухое хранение реагентов предусматривают в закрытых складах.

Площадь склада при сухом хранении определяют по формуле

$$F_{\text{скл}} = \frac{QD_{\text{р}}T\alpha}{10000\,p \cdot p_{\text{с}}h_{\text{р}}}, \qquad (2.3)$$

где $F_{\text{скл}}$ – площадь склада, м^2; Q – полезная расчетная производительность станции, м^3/сут; T – продолжительность хранения реагента, сут; $D_{\text{р}}$ – доза реагента по максимальной потребности; α – коэффициент, учитывающий площади проходов на складе, равный 1,15; p – содержание активного безводного продукта в реагенте, %; $p_{\text{с}}$ – насыпная плотность реагента, т/м^3; $h_{\text{р}}$ – допустимая высота реагента на складе, м.

Сернокислый алюминий на очистные сооружения поставляют двух видов: неочищенный, содержание активной безводной части в котором составляет 33,5 % (по массе); и очищенный, содержание активной части в котором – 40 %.

При использовании в качестве коагулянта сернокислого алюминия возможно применение любой из вышеизложенных схем; при использовании хлорного железа или железного купороса, поставляемых в бочках, применяется только схема сухого хранения.

ОХА может поставляться в виде концентрированного 20 % раствора по Al_2O_3, или в виде гранулированного порошка (Аква-Аурат 30).

Насыпная плотность реагентов: сернокислого алюминия – 1,1÷1,3 т/м^3; извести негашеной – 1,0; сернокислого железа, хлорной извести, хлорного железа в таре – 1,5. Плотность 20 % раствора ОХА – 1,2÷1,3 г/см^3. Содержание активной части в извести составляет 60 %.

Высоту слоя реагентов на складе принимают для коагулянта – 2 м, для извести – 1,5 м; при механизации погрузочно-разгрузочных работ до 3,5 и 2,5 м соответственно.

При сухом хранении коагулянта приготовление раствора осуществляют в растворных баках. Емкость растворных баков определяют по формуле

$$W_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{час}}\, t\, \text{Д}_{\text{к}}}{10000\ \text{В}_{\text{р}}\gamma}, \qquad (2.4)$$

где $W_{\text{р}}$ – емкость растворного бака, м3; $Q_{\text{час}}$ – производительность станции, м^3/ч; $\text{Д}_{\text{к}}$ – доза коагулянта, г/м^3; $B_{\text{р}}$ – концентрация коагулянта, до 7 % для неочищенного, до 20 % для очищенного кускового; γ – объемный вес раствора коагулянта, равный 1 т/м^3.

Количество растворных баков должно быть не менее трех. Бак может быть квадратным в плане с высотой слоя раствора до 1,25 м. Из растворных баков раствор коагулянта перекачивают в расходные баки, где разбавляют водой до требуемой концентрации. Для перекачки растворов коагулянта используют кислотостойкие насосы (подбираются по прил. 3). Время перекачки из растворного бака в расходные баки принимают 30...60 мин.

Емкость расходного бака определяют по формуле

$$W = \frac{W_{\text{р}} B_{\text{р}}}{B}, \qquad (2.5)$$

где W – емкость расходного бака, м^3; B – концентрация раствора коагулянта в расходном баке (до 12 %).

Количество расходных баков должно быть не менее двух. Они могут быть квадратными или прямоугольными в плане с высотой слоя раствора до 2 м.

При мокром хранении растворные баки являются одновременно хранилищами насыщенного раствора коагулянта. Объем баков

определяют из расчета 2,2–2,5 м^3 на 1 т товарного неочищенного и 1,9–2,2 м^3 на 1 т очищенного коагулянта. Общая емкость, растворных баков должна быть увязана с объемом разовой поставки реагента. Количество баков должно быть не менее трех.

Количество реагента (коагулянта) на принятый срок хранения определяют по формуле

$$M_{\text{к}} = \frac{Q\,Д_{\text{р}}\,T}{10000T}, \tag{2.6}$$

где $M_{\text{к}}$ – количество реагента, т; Q – полная расчетная производительность очистной станции, м^3/сут; $Д_{\text{р}}$ – доза реагента по максимальной потребности, мг/л; T – продолжительность хранения реагента, сут.

Мокрое хранение.

Количество реагента (коагулянта) $M_{\text{к}}$, т, на принятый срок хранения:

$$M_{\text{к}} = \frac{Q\,Д_{\text{к}}\,T}{10000\,P}, \tag{2.7}$$

где Q – полная расчетная производительность очистной станции, м^3/сут, расчет см. выше; $Д_{\text{к}}$ – доза реагента по максимальной потребности, мг/л; T – продолжительность хранения реагента, сут; P – содержание активного безводного продукта в реагенте, %.

Объем растворных баков W_1, м^3, определен из расчета 2 м^3 на 1 т очищенного коагулянта:

$$W_1 = 2M_{\text{к}}. \tag{2.8}$$

Из растворных баков раствор коагулянта перекачивают в расходные баки, где разбавляют водой до требуемой концентрации. Емкость расходного бака W, м^3:

$$W = \frac{W_1 B_{\text{р}}}{B}, \tag{2.9}$$

где $B_{\text{р}}$ – концентрация коагулянта, принята равной 20 %; B – концентрация раствора коагулята в расходном баке, принята равной 12 %.

Для растворения коагулянта и перемешивания его в баках предусмотрена подача сжатого воздуха.

Расход воздуха $Q_{\text{в}}$, л/с:

$$Q_{\text{в}} = q_{\text{в}}Fn, \tag{2.10}$$

где $Q_в$ – расход воздуха, л/с; $q_в$ – интенсивность подачи сжатого воздуха, принята для растворения реагента 10 л/(с·м^2) и для перемешивания 5 л/(с·м^2); F – площадь одного бака, м^2; n – количество баков.

При месячном потреблении коагулянта более объема более его разовой поставки часть реагента хранят в баках-хранилищах концентрированного раствора реагента, объем которых определяют из расчета 1,5–1,7 м^3 на одну тонну товарного коагулянта. Количество баков-хранилищ должно быть не менее трех.

3. Подбор воздуходувки

Для сокращения продолжительности растворения коагулянта и лучшего перемешивания раствора в баки подается сжатый воздух от воздуходувки. Производительность воздуходувки определяется исходя из площадей растворных и расходных баков и интенсивности подачи воздуха.

Распределение воздуха по площади бака осуществляется при помощи дырчатых винипластовых труб или кислотостойких шлангов, которые укладываются в растворных баках под колосниковой решеткой, а в расходных – по дну бака. Расстояние между трубами (шлангами) 400...500 мм, скорость выхода воздуха из отверстий – 20...30 м/с; диаметр направленных вниз отверстий – 3÷4 мм; скорость движения воздуха в трубах – 10÷15 м/с,

Для растворения коагулянта и перемешивания его в баках предусматривается подача сжатого воздуха с интенсивностью: 8÷10 л/(с·м^2) для растворения, 3–5 л/(с·м^2)для перемешивания при разбавлении до требуемой концентрации в расходных баках. Расход сжатого воздуха в растворных баках:

$$Q_{раст.б} = q_{раст.б}Fn, \qquad (2.11)$$

где $q_{раст.б}$ – интенсивность подачи сжатого воздуха, л/(с·м^2); F – площадь одного бака, м^2; n – число баков.

Расход сжатого воздуха в расходных баках:

$$Q_{расх.б} = q_{расх.б}Fn, \qquad (2.12)$$

где $q_{расх.б}$ – интенсивность подачи сжатого воздуха, л/(с·м^2).

Общий расход сжатого воздуха:

$$Q = Q_{раст.б} + Q_{расх.б}. \qquad (2.13)$$

По суммарному результату подбирают воздуходувки (рабочую и резервную).

Производительность насоса для гидравлического перемешивания определяют по формуле

$$Q_{\text{н}} = 3{,}6vFn, \qquad (2.14)$$

где $Q_{\text{н}}$ – производительность насоса, м^3/ч; v – восходящая скорость известкового молока в случае подщелачивания, мм/с.

Количество насосов должно быть не менее двух (1 рабочий и 1 резервный). Подбор воздуходувки производится по прил. 4.

4. Дозирование реагентов

Дозирование реагентов в обрабатываемую воду осуществляют дозаторами. Наиболее часто применяют поплавковые дозаторы, или мембранные насосы-дозаторы. Поплавковые дозаторы изготавливают непосредственно на станциях водоподготовки и размещают в расходных баках.

Насосы-дозаторы устанавливаются в помещении расходных баков, поплавковые дозаторы – на площадке над смесителем.

Характеристики разработанных поплавковых дозаторов приведены в прил. 5. Подбор химически стойких насосов-дозаторов стоит производить по каталогам.

Подачу насосов для дозирования реагентов определяют по формуле

$$Q = \frac{Q_{\text{час}}\,\text{Д}_{\text{р}}}{10000B\gamma}. \qquad (2.15)$$

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных с указанием марок подобранного технологического оборудования.

Проверочные вопросы

1. Реагенты используемы для водоподготовки.
2. Принцип выбора доз коагулянтов.
3. Оценка необходимости подщелачивания воды, используемые реагенты.
4. Способы хранения реагентов.
5. Способы дозирования реагентов.

Практическая работа №3
Конструирование и расчет смесителей, входных камер, микрофильтров

Цель работы: получить навыки выбора и расчета сооружений для обеспечения полного смешения реагентов с обрабатываемой водой.

Порядок выполнения

Смесители

Смесители предназначены для равномерного распределения вводимых реагентов по всему объему обрабатываемой воды за короткий период времени (не более 2 мин). В практике водоподготовки используют различные типы гидравлических и механических смесителей. Выбор типа зависит от производительности станции, вида используемых реагентов и др.

Для смешения с водой плохо растворимых суспензий (например, известкового молока, используемого для подщелачивания воды) рекомендуются вертикальные вихревые смесители, представляющие собой конические или пирамидальные резервуары из стали или железобетона, обращенные усеченной вершиной вниз (рис. 3.1). Угол конусности вихревого смесителя – 30÷45°, скорость выхода воды из подводящего трубопровода $v_ф$ – 1,2÷1,5 м/с, скорость восходящего движения воды на уровне сборных устройств $v_{ст}$ – 30÷40 мм/с.

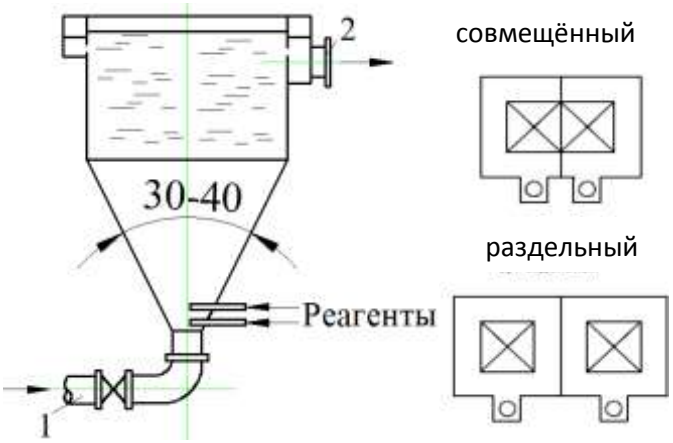

Рис. 3.1. Вертикальный вихревой смеситель

Смесители должны иметь не менее двух отделений. Резервные смесители не предусматривают, но устраивают обводные линии. Смесители должны иметь переливные трубы, а также трубы для опорожнения и выпуска осадка.

Порядок расчета смесителя.

По скорости входа воды в смеситель и расходу на одно отделение определяют диаметр подающей трубы.

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi v}}, \tag{3.1}$$

где d – диаметр подающей трубы, м; q – расход воды на одно отделение, м^3/с; v – скорость входа воды в смеситель, принимая 1,2–1,5 м/с.

Сторону квадрата нижнего сечения смесителя (смеситель квадратный в плане) определяют по формуле

$$b_{\text{н}} = d_{\text{н}} + 0{,}05, \tag{3.2}$$

где $b_{\text{н}}$ – сторона квадрата нижнего сечения смесителя, м; $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр подающей трубы, м.

Сторону квадрата верхнего сечения определяют по формуле

$$b_{\text{в}} = \sqrt{\frac{q}{v_{\text{в}}}}, \tag{3.3}$$

где $b_{\text{в}}$ – сторона квадрата верхнего сечения смесителя, м; $v_{\text{в}}$ – скорость восходящего потока в верхней части смесителя (0,03–0,04 м/с).

Угол между наклонными стенками нижней (пирамидальной) части смесителя находится в пределах 30–45°. По величине угла между наклонными стенками определяют высоту нижней части смесителя:

$$h_{\text{н}} = 0{,}5 \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} (b_{\text{в}} - b_{\text{н}}), \tag{3.4}$$

где $h_{\text{н}}$ – высота нижней части смесителя, м; α – угол между наклонными стенками нижней части смесителя.

Высоту верхней части смесителя принимают в пределах 1–1,5 м.

Общую высоту смесителя определяют по формуле

$$h = h_{\text{н}} + h_{\text{в}} + 0{,}3, \tag{3.5}$$

где h – общая высота смесителя, м; 0,3 – строительная высота, м.

Площадь поперечного сечения сборного лотка смесителя определяют по расходу, который делится на два потока, и скорости движения воды в нем:

$$F_{л} = \frac{q}{2v}, \tag{3.6}$$

где $F_{л}$ – площадь поперечного сечения сборного лотка, м^2; v – скорость движения воды в лотке, принимаемая равной 0,6 м/с.

Приняв глубину потока в лотке, определяем его ширину

$$b_{л} = \frac{F_{л}}{h_{л}}, \tag{3.7}$$

где $b_{л}$ – ширина сборного лотка смесителя, м; $h_{л}$ – глубина потока в лотке, равная 0,5 м. Дно лотка выполняют с уклоном i = 0,02.

В лоток вода поступает через затопленные отверстия, общую площадь которых определяют по формуле

$$F_{с} = \frac{q}{v}, \tag{3.8}$$

где $F_{с}$ – общая площадь отверстий, м^2; v – скорость воды в отверстиях принимая равной 1 м/с.

Приняв диаметр одного отверстия $d_{о}$ = 50–80 мм, определяют их число:

$$n_{о} = \frac{F_{о}}{f_{о}}, \tag{3.9}$$

где $n_{о}$ – число отверстий; $f_{о}$ – площадь одного отверстия, м.

$$f_{о} = \frac{\pi d^2}{4}, \tag{3.10}$$

Шаг отверстий определяют по формуле

$$l_{о} = \frac{4b_{в}}{n_{о}}, \tag{3.11}$$

где $l_{о}$ – шаг отверстий, м.

Потери напора связаны с истечением из отверстий призматической части:

$$l_{отв} = \xi \frac{v_{отв}^2}{2g}, \tag{3.12}$$

где ξ – коэффициент сопротивления, 1; v – скорость движения воды в смесителе, м/с.

Прочие потери принимаются в размере 15 % от учтенных.

$$h' = h_{\text{отв}} 0{,}15. \tag{3.13}$$

Общие потери в смесителе составят

$$\sum h_{\text{см}} = h_{\text{отв}} + h'. \tag{3.14}$$

Перегородчатый смеситель

Перегородчатый смеситель представляет собой канал с перегородками, обеспечивающими горизонтальное вертикальное движение воды с поворотами на 180°. Число поворотов принимают равным 9–10.

Потери напора на одном повороте смесителя определяют по формуле

$$h = \xi \frac{v^2}{2g}, \tag{3.15}$$

где ξ – коэффициент сопротивления, принимаемый равным 2,9; v – скорость движения воды в смесителе, принимаемая уменьшающейся от 0,7 до 0,5 м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с^2.

2. Барабанные сетки и микрофильтры

На водоочистных станциях с контактными осветлителями предусматривают сетчатые барабанные фильтры (БС) или сетчатые барабанные микрофильтры (МФ), а также входную камеру, обеспечивающую требуемый напор воды, смешение и контакт воды с реагентами. БС или МФ располагают над входной камерой. Установка их в отдельно стоящем здании допускается при обосновании.

Барабанные сетки (БС) и микрофильтры (МФ) предназначены для удаления из воды плавающих и грубых взвешенных веществ (БС), а также планктона (МФ). Подбор БС и МФ осуществляется исходя из общего расхода поступающей на станцию воды и их производительности по приложению 8. Количество рабочих и резервных агрегатов (БС или МФ), в зависимости от производительности станции, можно принять по [1]. Промывку БС и МФ осуществляют водой, прошедшей через них.

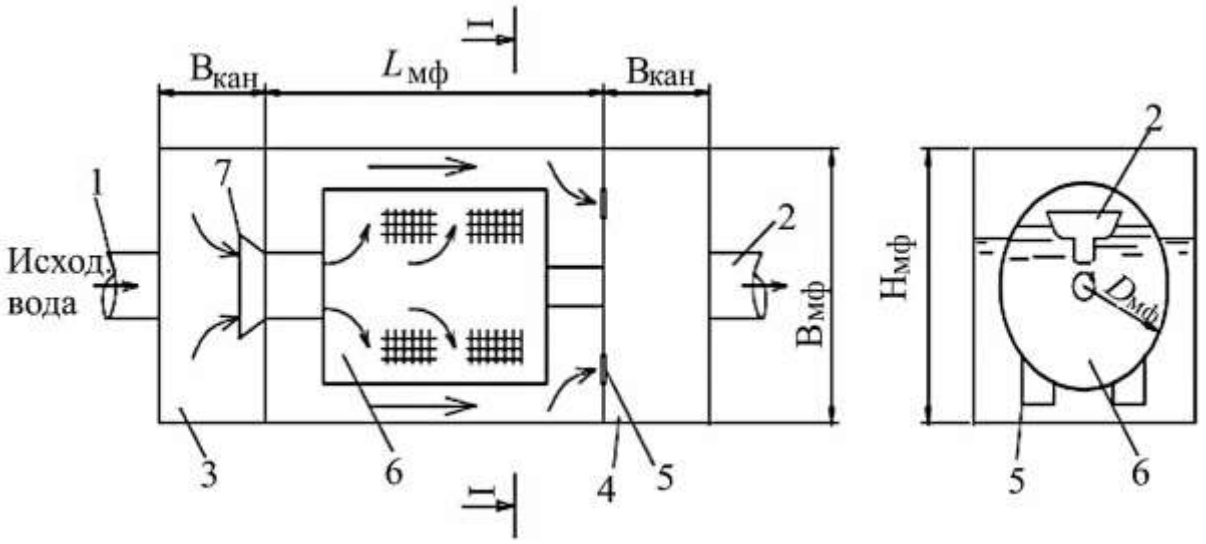

Рис. 3.2. Микрофильтр (барабанная сетка):
1 – трубопровод, подающий исходную воду; 2 – трубопровод, отводящий осветленную воду; 3 – подводящий канал; 4 – отводящий канал; 5 – водопропускные отверстия; 6 – барабан с сеткой; 7 – выпускной патрубок; 8 – желоб для сбора промывной воды

Порядок расчета МФ и БС

Для заданного расхода воды, поступающего на водоподготовку с учетом собственных нужд на промывку сеток (0,5 % от общей подачи воды на подготовку) согласно приложению принимаем к установке *n* (количества рабочих сеток должно быть не менее 3) барабанных сеток выбранной марки с суммарной производительностью близкой к заданной производительности станции (м^3/сут). Выписываем размеры принятых к установке сеток и число фильтрующих элементов (рабочих и резервных).

Размеры подводящего и отводящего каналов принимаем из характеристики принятых марок сеток. Высоту канала принимаем конструктивно равной высоте барабанной сетки:

$$H_{бс} = h_{кан}. \qquad (3.16)$$

Высота барабанной сетки *H*, м:

$$H_{бс} = h_з + \frac{2}{3} D_б + h'_з, \qquad (3.17)$$

где $h_з$ – величина строительного запаса, принята равной 0,3 м; $h'_з$ – расстояние от боковой поверхности барабана до дна камеры,

принимаем не менее 0,5 м; $D_б$ – диаметр барабана, принимаем из характеристики принятой модели по прил. 8.

Ширина канала $b_{кан}$, м:

$$b_{кан} = \frac{Q^1_{бс}}{v_{кан} h_{кан}}, \quad (3.18)$$

где $Q^1_{бс}$ – расход воды, поступающей на одну барабанную сетку,м^3/с, $v_{кан}$ – скорость движения воды в канале, м/с, принята 0,6 м/с; $h_{кан}$ – высота канала, м, принята конструктивно равной высоте барабанной сетки м.

Диаметр подводящего и отводящего трубопроводов $d_{под}$, м:

$$d^1_{под} = \sqrt{\frac{4Q^1_{бс}}{\pi v}}, \quad (3.19)$$

где v – скорость течения воды принять равной 1÷1,5 м/с.

Диаметр общего подводящего и отводящего водовода:

$$d^1_{под} = \sqrt{\frac{4Q^1_{бс} n}{\pi v}}. \quad (3.20)$$

После принятия диаметра водовода проверяется фактическая скорость, которая должна удовлетворять величинам 1÷1,5 м/с.

Расход воды на промывку микрофильтров считаем по формуле

$$q_{пр} = Q_{сут} \cdot 0{,}5, \quad (3.21)$$

где $Q_{сут}$ – производительность станции м^3/сут, 0,5 доля воды, используемой на промывку всех сеток.

Диаметр трубопровода промывной воды:

$$d_{пр} = \sqrt{\frac{4q^1_{пр}}{\pi v}}. \quad (3.22)$$

Скорость движения воды в промывном трубопроводе 1,5 м/с.

После принятия диаметра промывного трубопровода проверяется фактическая скорость, которая должна удовлетворять величинам 1÷1,5 м/с.

Размеры камеры барабанной сетки

Барабан на 2/3 погружен в воду.

Высота камеры барабанной сетки $H_{бс}$ рассчитана выше. Ширина камеры барабанной сетки B, м:

$$B = D_б \cdot 2h'_з, \qquad (3.23)$$

где $D_б$ – диаметр барабана принят согласно прил.; $h'_з$ – расстояние от боковой поверхности барабана до стенок камеры, не менее 0,5 м.

Длина камеры барабанной сетки L, м:

$$L = l_б + 2b_{кан} + 2h''_з, \qquad (3.24)$$

где $l_б$ – длина барабана, м, принята согласно прил.; $b_{кан}$ – ширина канала, м, расчет см. выше; $h''_з$ – расстояние от торцов барабана до стенок, не менее 0,7 м.

Потери напора на барабанной сетке приняты 0,1 м.

3. Входные камеры

Расчет входной камеры выполняют аналогично расчету вихревого (вертикального) смесителя, но с учетом следующих изменений: угол между наклонными стенками нижней части входной камеры принимают равным 45°; высоту верхней части входной камеры принимают равной 3–3,5 м.

Наименьший объем ВК определяется из условия пребывания воды в ней не менее 5 мин. Во входной камере должно быть не менее двух отделении. Дно ВК проектируется с наклонными стенками. ВК оборудуется сетками с отверстиями размером 2–4 мм приспособлениями для промывки сеток, спускной и переливной трубами. Рабочую площадь сеток надлежит определять по скорости движения воды в них в пределах 0,2÷0,3 м/с. Так как ВК располагается в одном здании с МФ и БС, то размеры в плане равны ширине одной БС или МФ. Размеры ВК вычисляют аналогично размерам смесителя. Диаметры подводящих и отводящих трубопроводов рассчитывают по скорости движения воды 1–1,5 м/с. Подводящие и отводящие каналы рассчитываются так же, как и при расчете МФ и БС.

Производительность входной камеры принимается равной производительности барабанных сеток,

Общий объем камеры, м^3:

$$W_{общ} = Q_{вк}\, t, \qquad (3.25)$$

где t – время пребывания воды в камере, принято 5 мин; $Q_{вк}$ – производительность входной камеры.

Диаметр подводящего и отводящего трубопроводов

Диаметры подводящего и отводящего трубопроводов ВК приняты равными между собой и равными также соответствующим диаметрам в барабанных сетках.

Ширина подводящего и отводящего каналов

Ширина подводящего и отводящего каналов принята равной ширине каналов в барабанных сетках.

Размеры входной камеры

Размеры входной камеры в плане приняты равными ширине барабанной сетки. Камера состоит из двух одинаковых секций (отделений) [1] ($n_{сек}$ не менее 2 отделений).

Длина входной камеры $l_{вк} = 2l$.

Объем одной секции:

$$W_{вк}^{1} = \frac{W_{общ}}{n_{вх} n_{сек}}, \qquad (3.26)$$

где $n_{вх}$ – количество входных камер; $n_{сек}$ – количество секций в каждой камере.

Высота нижней пирамидальной части камеры $h_{пир}$, м:

$$h_{пир} = 0{,}5 \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} (b_{в} - b_{н}), \qquad (3.27)$$

где α – угол между наклонными стенками нижней (пирамидальной) части камеры, град, принят 80 град; $b_{в}$ – сторона квадрата верхнего сечения камеры, м, (стороны по ширине барабанной сетки); $b_{н}$ – сторона квадрата нижнего сечения камеры, м, принята с учетом размещения спускного трубопровода $d_{сп}$:

$$b_{н} = b_{сп} + 2 \cdot 0{,}05.$$

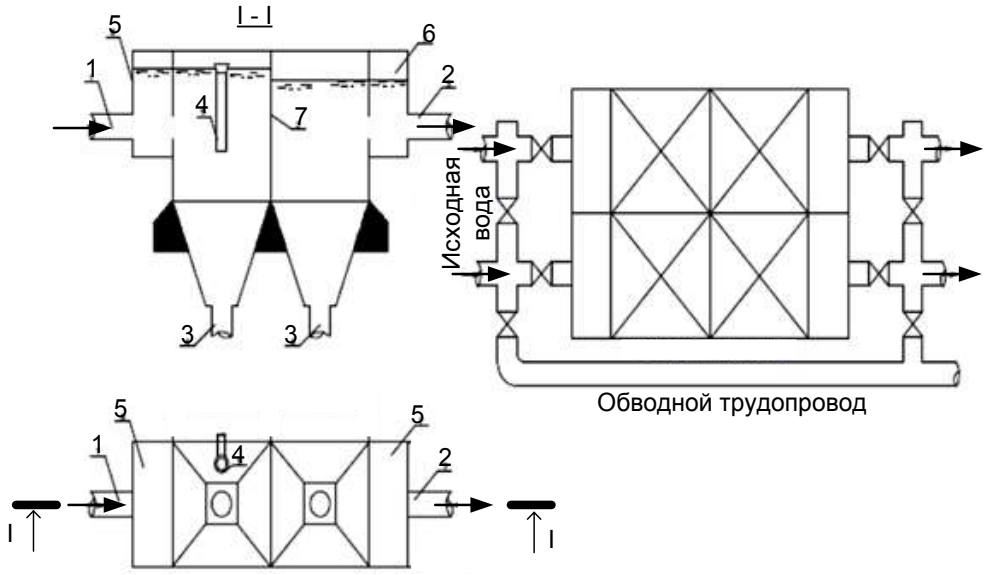

Рис. 3.3. Входная камера:
1 – трубопровод подачи исходной воды; 2 – трубопровод отвода воды из ВК; 3 – спускной трубопровод; 4 – переливная труба; 5 – подводящий канал; 6 – отводящий канал; 7 – сетка

Объем нижней пирамидальной части одной секции камеры:

$$W_{\text{пир}} = \frac{1}{3} h_{\text{пир}} \left(F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 F_2} \right), \qquad (3.28)$$

где F_1 – площадь верхнего сечения пирамиды (стороны приняты по размерам барабанных сеток без учета каналов), см. выше; F_2 – площадь нижнего сечения пирамиды, м^2: $F_2 = b_{\text{н}}^2$.

Объем призматической части:

$$W_{\text{приз}} = W_{\text{вх}} - W_{\text{пир}}, \qquad (3.29)$$

где $W_{\text{вк}}$ – объем одной секции входной камеры (расчет см. выше);

Высота верхней призматической части входной:

$$H_{\text{приз}} = \frac{W_{\text{приз}}}{f}, \qquad (3.30)$$

где f – площадь одной секции, м^2 (расчет см. выше).

Высота входной камеры:

$$H_{\text{вк}} = h_{\text{пир}} + H_{\text{приз}} + h_{\text{з}}, \qquad (3.31)$$

где $h_{\text{з}}$ – величина строительного запаса, м, в пределах 0,3–0,5 м выше уровня воды в смесителе.

Размеры сетки.

Рабочая площадь сетки:

$$f = \frac{Q_{вк}}{n_{вх} v_с}, \qquad (3.32)$$

где $Q_{вх}$ – производительность входной камеры, м^3/с (расчет см. выше); $n_{вх}$ – количество камер, шт. (см. выше); $v_с$ – скорость движения воды в сетке, м/с, принимается в пределах 0,2–0,3 м/с.

Исходя из высоты призматической части входной камеры, принимается высота сетки.

Ширина сетки:

$$b_с = \frac{f}{h}, \qquad (3.33)$$

где f – рабочая площадь сетки, м (расчет см. выше); h – высота сетки, принята (см. выше).

Принимаются сетки размерами $h \times b$ с отверстиями 2–4 мм.

Входная камера оборудуется приспособлениями для промывки сеток, спускной и переливной трубами. Диаметр обводной линии d, мм:

$$d_{об} = \sqrt{\frac{4Q_{об}}{\pi v}}, \qquad (3.34)$$

где $Q_{об}$ – расход воды, пропускаемый по обводной линии

$$Q_{об} = 0{,}7\ Q_{вк}, \qquad (3.35)$$

v – скорость движения воды в обводном трубопроводе, в рекомендованных пределах 1–1,5 м/с.

Скорость движения воды в линии диаметром 1600 мм

После принятия диаметра обводного трубопровода проверяется фактическая скорость, которая должна удовлетворять величинам 1÷1,5 м/с.

В каждом отделении предусматриваются переливные и спускные трубы [1].

$$d_{сп} = \sqrt{\frac{4Q_{сп}}{\pi v}}, \qquad (3.36)$$

где $Q_{сп}$ – расход воды, пропускаемый по спускной трубе для входной камеры, м^3/с; v – скорость движения воды в сбросном трубопроводе, в рекомендованных пределах 1–1,5 м/с.

После принятия диаметра спускного трубопровода проверяется фактическая скорость, которая должна удовлетворять величинам 1÷1,5 м/с.

Диаметр переливной трубы $d_{пер}$.

Переливной трубопровод оканчивается в верхней части раструбом, диаметр которого:

$$d_{пер} = 0,5\ d_{отв}, \qquad (3.37)$$

где $d_{отв}$ – диаметр отводящего трубопровода (см. выше).

Превышение верха раструба над расчетным уровнем воды в камере рекомендовано не менее 10 см.

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных с указанием марок и габаритных размеров подобранного технологического оборудования.

Проверочные вопросы

1. Типы смесителей.
2. Назначение смесителей.
3. Назначение барабанных сеток и микрофильтров.
4. Принцип работы барабанных сеток и микрофильтров.
5. Место расположения смесителей и сооружений микрофильтрации в технологической схеме.

Практическая работа №4
Расчет камер хлопьеобразования

Цель работы: получить навыки выбора типа и расчета камер хлопьеобразования.

Порядок выполнения

Камеры хлопьеобразования служат для завершения процесса «образования» и укрупнения хлопьев. Скорость воды в них должна быть такой, чтобы не разрушались образующиеся хлопья. Камеры хлопьеобразования применяют только при предварительном осветлении воды в отстойниках.

При осветлении воды в горизонтальных отстойниках предусматривают перегородчатые, вихревые или встроенные со слоем взвешенного осадка камеры хлопьеобразования в вертикальных отстойниках – водоворотные.

1. Перегородчатая камера хлопьеобразования

В перегородчатой камере хлопьеобразования устраивают ряд перегородок, заставляющих воду изменять направление своего движения в вертикальной или горизонтальной плоскости.

Перегородчатую камеру хлопьеобразования с горизонтальным движением воды применяют на станциях производительностью не менее 50 тыс. $м^3$/сут. Время пребывания воды в камере принимают 20–30 мин (нижний предел для мутных вод, верхний – для цветных с низкой температурой зимой). Минимальная ширина коридора (расстояние между перегородками) должна быть не менее 0,7 м. Число поворотов потока в камере принимают равным 8–10. Скорость движения воды в коридорах принимают уменьшающейся за счет увеличения ширины коридора (0,2–0,3 м/с в начале камеры, 0,05–1,0 м/с в конце камеры).

2. Вихревая камера хлопьеобразования

Вихревые камеры хлопьеобразования могут быть с вертикальными или наклонными стенками, угол между которыми 50–70°. Время пребывания воды в, них 6–12 мин (нижний предел – для мутных вод, верхний – для цветных вод). Скорость входа воды в камеру принимают 0,7–1,2 м/с, скорость восходящего потока на выходе из камеры 4–5 мм/с.

Количество камер принимают по числу отстойников. В плане камера может быть круглой или квадратной. Если камеру встраивают в отстойник, то ее длину принимает равной ширине отстойника.

Методика расчета камеры аналогична методике расчета вертикального смесителя. Общую высоту камеры принимают равной высоте отстойника.

Для сбора воды, прошедшей камеру хлопьеобразования, в верхней ее части устанавливают перфорированный желоб с затопленными отверстиями, размещенными по периметру его внутренней стенки. Скорость движения воды в отверстиях не должна превы-

шать 0,1 м/с. Расчетная скорость движения воды в желобе – 0,1 м/с. Ширину желоба принимают равной 0,4–0,6 м.

Потери напора в камере можно принимать 0,2–0,3 м на 1 м рабочей высоты камеры.

3. Встроенная камера хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка

Камеру хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка встраивают в горизонтальный отстойник и применяют для вод средней мутности и мутных вод. Число камер равно числу отстойников.

Для обеспечения движения потока в вертикальном направлении в камере устанавливают струенаправляющие перегородки. Скорость восходящего потока принимают: при осветлении вод средней мутности – 0,65–1,6 мм/с; при осветлении мутных вод – 0,8–2,2 мм/с.

Порядок расчета камеры хлопьеобразования (КХО)

1. Определение площади КХО, м:

$$f_{\text{кхо}} = \frac{Q_{\text{го}}}{n_{\text{го}} v_{\text{кх}}}, \tag{4.1}$$

где $v_{\text{кх}}$ – средняя скорость восходящего потока воды в верхнем горизонтальном сечении воды КХО, принимается в соответствии с указаниями [1]; $Q_{\text{го}}$ – расход воды, поступающий на горизонтальные отстойники м^3/сут.

2. Принимаем ширину КХО равной ширине одного ГО.
3. Длину КХО вычисляют по формуле

$$L_{\text{кх}} = \frac{f_{\text{кхо}}}{B_{\text{го}}}. \tag{4.2}$$

4. Определение объема КХО, м:

$$W_{\text{кх}} = \frac{Q_{\text{го}} t_{\text{кх}}}{n_{\text{го}}}, \tag{4.3}$$

где $t_{\text{кх}}$ – продолжительность пребывания воды в камере [1].

5. Определение высоты КХО, м:

$$h_{\text{кх}} = \frac{W_{\text{кх}}}{f_{\text{кхо}}} + h_{\text{з}}. \qquad (4.4)$$

При назначении высота КХО следует учесть, что слой взвешенного осадка должен быть не менее 3 м.

6. Распределение воды до площади камеры хлопьеобразования предусматривают с помощью перфорированных каналов или труб с отверстиями, направленными горизонтально в стенках каналов или вниз под углом 45° для труб [1]. В каждой камере обычно размещают три перфорированные трубы (канала), так, чтобы расстояние между ними соответствовало указаниям [1].

Расход воды по каждой трубе (каналу) равен

$$q_m = \frac{Q_{\text{го}}}{n \cdot n_{\text{го}}}, \qquad (4.5)$$

где n – количество труб (каналов) в КХО.

По расходу q_m и рекомендованным в [1] скоростям движения воды подбирают диаметр трубопровода (размеры канала). Площадь отверстий в трубах составляет 30–40 % площади сечения распределительной трубы (канала). Диаметр отверстий – не менее 25 мм. Необходимо установить количество и шаг отверстий. Рассчитывается диаметр трубопровода, подводящего исходную воду к отдельной камере хлопьеобразования.

7. Из камеры хлопьеобразования в горизонтальный отстойник вода отводится затопленным водосливом (над стенкой). Скорость движения воды над гребнем водослива $v_{\text{гв}}$ следует принимать не более 0,05 м/с. Превышение уровня воды в отстойнике над гребнем водослива определяют по формуле

$$h_{\text{гв}} = \frac{Q_{\text{го}}}{B_{\text{го}} n_{\text{го}} v_{\text{го}}}. \qquad (4.6)$$

За стенкой водослива устанавливается подвесная перегородка, погруженная на 1/4 высоты отстойника, отклоняющая поток воды к низу.

Скорость движения воды между стенкой и перегородкой – не более 0,03 м/с. Определяют расстояние между стенкой водослива и подвесной перегородкой $B_{\text{п}}$.

Камера хлопьеобразования должна быть оборудована трубопроводом диаметром не менее 150 мм для опорожнения.

Расчет вести совместно с расчетом ГО.

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных с указанием габаритов подобранного технологического оборудования.

Проверочные вопросы:

1. Назначение камер хлопьеобразования.
2. Типы камер хлопьеобразования.
3. Скоростные режимы работы камер хлопьеобразования.
4. Принцип выбора размера сооружения в плане.
5. Принцип работы камеры хлопьеобразования.

РАЗДЕЛ 3. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ

Практическая работа №5
Расчет сооружений для отстаивания воды (горизонтальные и вертикальные отстойники)

Цель работы: получить навыки выбора пита отстойников в зависимости от качества исходной воды и производственной мощности станции.

Порядок выполнения

1. Вертикальные отстойники

Вертикальные отстойники (рис. 5.1) применяют на станциях производительностью до 5000 м^3/сут. Их проектируют с гидравлическими камерами хлопьеобразования водоворотного типа (камеру хлопьеобразования размещают и центре отстойника).

Расчет вертикальных отстойников

Общая площадь зоны осаждения вертикальных отстойников

$$F_{зо} = \frac{\beta q}{3{,}6 v_р N_р}, \qquad (5.1)$$

где q – расчетный расход для двух периодов, м^3/ч; $v_р$ – расчетная скорость восходящего потока, мм/с, принята по с [1]; β – коэффициент, учитывающий объемное использование отстойника; $N_р$ – количество рабочих отстойников.

$$q_{лет} = Q_{пол} + q_{собст.н};$$
$$q_{зим} = (Q_{пол} – 10\%) + q_{собст.н}, \qquad (5.2)$$

где $q_{лет}$ – расчетный расход для летнего периода; $q_{зим}$ – расчетный расход для зимнего периода; $Q_{пол}$ – полезная производительность станции, принята по заданию, м^3/ч; $q_{собст.н}$ – расход на собственные нужды станции.

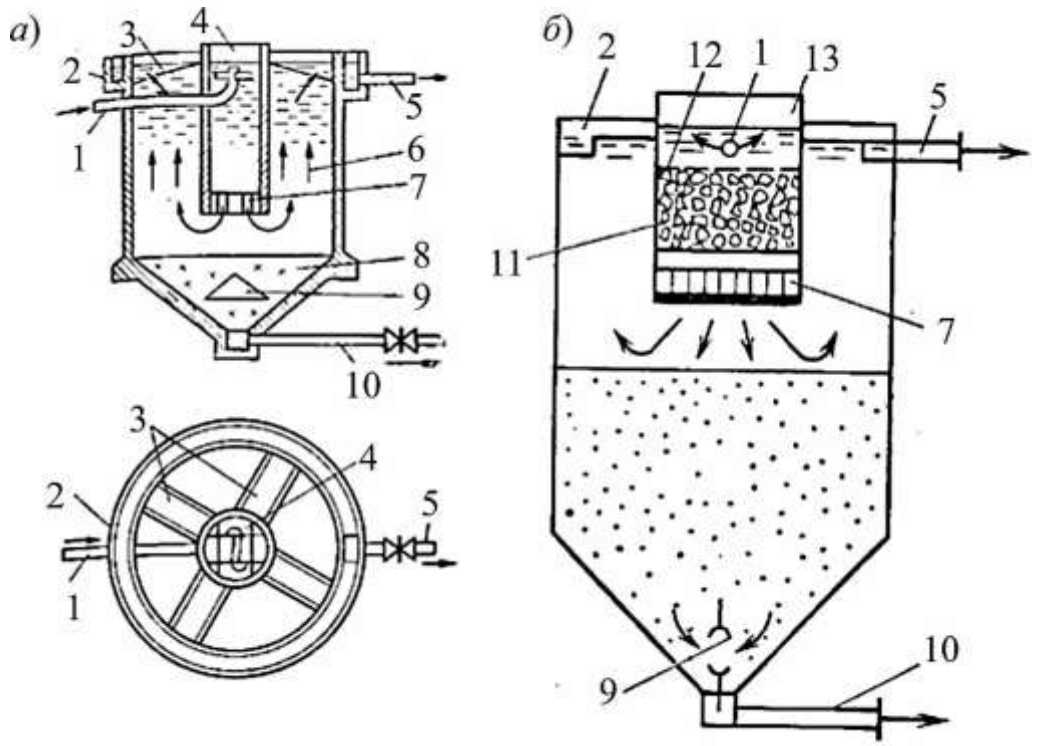

Рис. 5.1. Вертикальный отстойник:
Водоворотная (*а*) и контактная (*б*) камеры хлопьеобразования, встроенные в вертикальный отстойник:
1, 5 – подача исходной и отвод осветленной воды; 2 и 3 – кольцевой и радиальные водосборные лотки (желоба); 4 – водоворотная камера; 6 – зона осветления воды; 7 – гаситель; 8 – зона накопления и уплотнения осадка; 9 – конусный отражатель; 10 – удаление осадка; 11 – контактная загрузка из вспененного полистирола; 12 – сетка; 13 – контактная камера

$$q_{\text{собст.н}} = q^{\text{СФ}}_{\text{собст.н}} + q^{\text{ВО}}_{\text{собст.н}}, \qquad (5.3)$$

где $q^{\text{СФ}}_{\text{собст.н}}$ – расход воды на собственные нужды (промывной расход) скорых фильтров; $q^{\text{ВО}}_{\text{собст.н}}$ – расход воды на собственные нужды вертикальных отстойников для двух периодов, м^3/ч.

$$q^{\text{ВО}}_{\text{собст.н}} = \text{К}_\text{р}\, q^{\text{СФ}}_{\text{собст.н}} \frac{C - m}{\delta} g, \qquad (5.4)$$

где $\text{К}_\text{р}$ – коэффициент разбавления при гидравлическом удалении осадка, $\text{К}_\text{р} = 1{,}5$; C – концентрация взвешенных веществ в воде, г/м^3, поступающих в отстойник, для двух периодов; m – мутность воды на выходе из отстойника, г/м^3 (в пределах 8–10 г/м^3); δ – средняя по всей высоте осадочной части концентрация твердой фазы в осадке,

в зависимости от мутности воды и продолжительности интервалов между сбросами, принята по [1].

$$C = \text{М} + \text{К}_{\text{к}}\text{Д}_{\text{к}} + 0{,}25\,\text{Ц} + \text{В}_{\text{и}}, \qquad (5.5)$$

где $\text{К}_{\text{к}}$ – коэффициент, принимаемый для очищенного сернокислого алюминия – 0,5; М – количество взвешенных веществ в исходной воде, (принимается равным мутности воды), (принято по заданию); $\text{Д}_{\text{к}}$ – доза коагулянта по безводному продукту, принята по [1]; Ц – цветность исходной воды, (принята по заданию); $\text{В}_{\text{и}}$ – количество нерастворимых веществ, вводимых с известью (учитывается в случае ее применения).

$$\text{В}_{\text{и}} = \frac{\text{Д}_{\text{и}}}{\text{К}_{\text{и}}} - \text{Д}_{\text{и}}, \qquad (5.6)$$

где $\text{Д}_{\text{и}}$ – доза извести по CaO, для зимнего периода не требуется; $\text{К}_{\text{и}}$ – долевое содержание CaO в извести.

Общая площадь камер хлопьеобразования вертикальных отстойников, м^2:

$$F_{\text{кх}} = \frac{t \cdot q}{60 h_k N_k}, \qquad (5.7)$$

где q – расчетный расход для двух периодов (расчет ведем на каждый из периодов); t – время пребывания воды в камере, (в пределах 15–20 мин); h_k – высота камеры хлопьеобразования (в пределах 3,5–4 м); N_k – количество камер.

Площадь одной камеры хлопьеобразования, м^2:

$$F^1_{\text{кх}} = \frac{F_{\text{кх}}}{N_k}. \qquad (5.8)$$

Диаметр одной камеры хлопьеобразования встроенной в вертикальный отстойник, м:

$$\text{Д}_{\text{кх}} = \sqrt{\frac{F^1_{\text{кх}}}{\pi}}. \qquad (5.9)$$

Общая площадь вертикальных отстойников, м^2:

$$F_{\text{во}} = F_{\text{зо}} + F_{\text{кх}}, \qquad (5.10)$$

где $F_{\text{зо}}$ – площадь зоны осаждения; $F_{\text{кх}}$ – площадь камеры хлопьеобразования.

Площадь одного вертикального отстойника, м^2:

$$F_{\text{во}}^{1} = \frac{F_{\text{во}}}{N_{\text{во}}}, \tag{5.11}$$

где $F_{\text{во}}$ – общая площадь вертикальных отстойников; $N_{\text{во}}$ – количество вертикальных отстойников.

Диаметр одного вертикального отстойника, м:

$$\text{Д}_{\text{во}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{во}}^{1}}{\pi}}. \tag{5.12}$$

Высоту камеры хлопьеобразования принимаем 3,5÷4 м. При этом должно выполняться условие $\text{Д}_{\text{во}} / h_k = 1 \div 1{,}5$.

Высота цилиндрической части отстойника принимается 4÷4,5 м.

Расход осадка, м^3/с:

$$q_{\text{ос}} = \frac{\pi v d_{\text{ос}}^{2}}{4}. \tag{5.13}$$

Диаметр трубопровода отводящего осадок принят конструктивно $d_{\text{ос}}$ = 0,3 м. Скорость движения осадка в конце труб принята – 1 м/с.

Время выпуска осадка (в расчете величину, данную в секундах, перевести в минуты):

$$t_{\text{вып.ос}} = \frac{\text{К}_{\text{р}} W_{\text{ос.ч}}}{q_{\text{ос}}}, \tag{5.14}$$

где $\text{К}_{\text{р}}$ – коэффициент разбавления при гидравлическом удалении осадка, принят 1,5; $W_{\text{ос.ч}}$ – объем осадочной части, м^3.

$$W_{\text{ос.ч}} = \frac{q_{\text{собст.н}}^{\text{во}}}{\text{К}_{\text{р}} N_{\text{во}}}, \tag{5.15}$$

где $q_{\text{собст.н}}^{\text{во}}$ – расход воды на собственные нужды вертикальных отстойников.

Высота зоны накопления и уплотнения осадка, м:

$$h_{\text{зн}} = \frac{\text{Д}_{\text{во}} - d_{\text{ос}}}{2\,\text{tg}(90 - \alpha)}. \tag{5.16}$$

где α – угол наклона к горизонтали стен нижней части отстойника; $\text{Д}_{\text{во}}$ – диаметр вертикального отстойника; $d_{\text{ос}}$ – диаметр трубопровода, отводящего осадок.

Объем зоны накопления и уплотнения осадка, м^3:

$$W_{зн} = \frac{1}{12}\pi h_{зн}(Д_{во}^2 + Д_{во}\, d_{ос} + d_{ос}^2), \qquad (5.17)$$

где $h_{зн}$ – высота зоны накопления осадка.

Период работы между сбросами осадка, ч:

$$T_р = \frac{W_{зн} N_{во} \delta}{q(C - m)}, \qquad (5.18)$$

где C – концентрация взвешенных веществ в воде, г/м^3, поступающих в отстойник; $W_{зн}$ – объем зоны накопления осадка; M – мутность воды на выходе из отстойника, (пределах 8÷10 г/м^3); δ – средняя по всей высоте осадочной части концентрация твердой фазы в осадке, в зависимости от мутности воды и продолжительности интервалов между сбросами, принята для летнего периода – 60000 г/м^3, для зимнего – 40000 г/м^3 при интервале между сбросами осадка 24 ч; $N_{во}$ – количество вертикальных отстойников; q – расчетный расход.

Площадь сечения желоба, м^2:

$$F_{жел} = \frac{q_р}{v}, \qquad (5.19)$$

где $q_р$ – расчетный расход на один отстойник; v – скорость движения воды в желобах (0,5–0,6 м/с).

По полученной величине площади желоба принимаем его размеры ($b_ж \times h_ж$).

Площадь затопленных отверстий, м^2:

$$\sum F_{отв} = \frac{q_р}{v_{отв}}, \qquad (5.20)$$

где $q_р$ – расчетный расход на один отстойник; $v_{отв}$ – скорость движения воды в отверстиях 1 м/с.

Площадь одного затопленного отверстия, м^2:

$$\sum F_{отв} = \frac{q_р}{v_{отв}}, \qquad (5.21)$$

где $d_{отв}$ – диаметр затопленных отверстий 0,02 м.

Количество затопленных отверстий, шт.:

$$N_{отв} = \frac{\sum F_{отв}}{F_{отв}^1}, \qquad (5.22)$$

где $F_{отв}$ – площадь всех затопленных отверстий; $F^1_{отв}$ – площадь одного затопленного отверстия.

Расстояние между осями отверстий, м:

$$l_{отв} = \frac{P}{N_{отв}}, \qquad (5.23)$$

где P – периметр отстойника; $N_{отв}$ – количество затопленных отверстий.

$$P = (Д_{во} - 4b_ж) + 8l, \qquad (5.24)$$

где $Д_{во}$ – диаметр вертикального отстойника; $b_ж$ – принятая ширина желоба; l – длина радиального желоба, м.

$$l = Д_{во} - Д_{кх}). \qquad (5.25)$$

2. Горизонтальные отстойники

Горизонтальные отстойники (ГО) применяют на станциях производительностью свыше 30000 м^3/сут. Их проектируют с рассредоточенным по поверхности сбором воды. Горизонтальные отстойники так же, как и осветлители со взвешенным осадком, являются сооружениями I ступени очистки (рис. 5.2). ГО – это прямоугольный железобетонный резервуар. В работе рекомендуется принять ГО со встроенными камерами хлопьеобразования и рассредоточенным по площади сбором осветленной воды.

Горизонтальные отстойники проектируют с механическим или гидравлическим удалением осадка без выключения подачи воды в отстойник. В случае осветления мутных вод с образованием малоподвижных осадков предусматривают гидравлическую систему смыва осадка с периодическим отключением подачи воды в отстойник.

Для отстойников с механизированным удалением осадка скребковыми механизмами объем зоны накопления и уплотнения осадка определяют в зависимости от размеров скребков, сгребающих осадок и приямок.

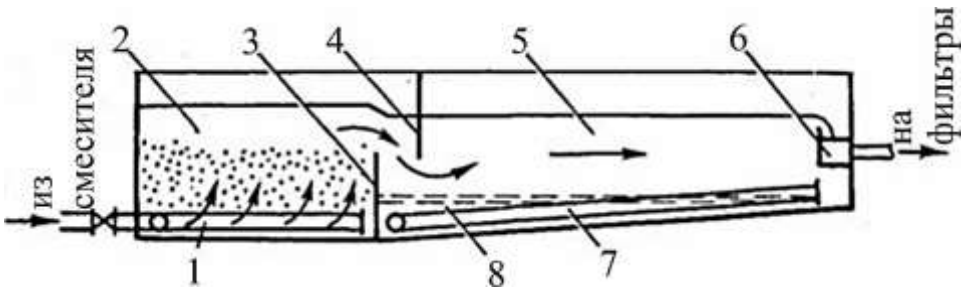

Рис. 5.2. Горизонтальный отстойник
со встроенной камерой хлопьеобразования:
1 – перфорированные трубы для подачи исходной воды; 2 – КХО; 3 – полупогружная переливная перегородка; 4 – струенаправляющая перегородка; 5 – ГО; 6 – сборный карман для отвода осветленной воды из ГО; 7 – трубопровод для отвода осадка; 8 – спускной трубопровод

Дно отстойника между трубами сборной системы принимают плоским или призматическим с углом наклона гребней 45°. Расстояние между осями труб принимают не более 3 м – при призматическом днище и 2 м при плоском. Продольный уклон дна отстойника принимают не менее 0,005.

Площадь сечения труб сборной системы определяют по скорости движения осадка (не менее 1 м/с). Отверстия для приема осадка принимают диаметром не менее 25 мм, а расстояние между осями отверстий – 300÷500 мм. Осадок через отверстия должен проходить со скорость не менее 1,5 м/с. Отношение суммарной площади отверстий к площади сечения трубы принимают равным 0,5÷0,7. Отверстия располагают в шахматном порядке вниз под углом 45° к оси трубы.

Рассредоточенный по площади сбор осветленной воды осуществляют с помощью горизонтальных подвесных желобов или труб, длина которых составляет 2/3 длины отстойника. Диаметр затопленных отверстий в желобах при трубах должен быть не менее 25 мм, скорость движения воды в них – 1 м/с. Площадь сечения желобов или труб определяют по скорости движения воды в них (0,6–0,8 м/с) и расходу. Отверстия в желобах располагают на 5÷8 см выше их дна, верх желобов должен на 10 см превышать максимальный уровень воды в отстойнике. При использовании труб для сбора воды их заглубляют под уровень воды, а отверстия располагают горизонтально. Расстояние между трубами или желобами должно быть не более 3 м.

В перекрытии, отстойников предусматривают люки для спуска в отстойники, отверстия для отбора проб на расстоянии не более 10 м друг от друга и вентиляционные трубы.

Расчет горизонтального отстойника

Расчет отстойников производим для двух периодов:

1) минимальной мутности при минимальном зимнем расходе;

2) наибольшей мутности при наибольшем расходе воды, соответствующей этому периоду.

Минимальный зимний расход равен общему расходу по населенному пункту и промышленному предприятию без учета расхода на полив территорий и зеленых насаждений.

Минимальный зимний расход, м^3/ч:

$$Q_{\text{зим}} = Q_{\text{пол}} - q_{\text{полив}}, \qquad (5.26)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – полезная производительность ВОС; $q_{\text{полив}}$ – расход на поливку.

Наибольший расход воды равен общему расходу необходимого на нужды населенного пункта и промышленного предприятия в летний период времени.

Расчетный расход воды, идущей на горизонтальные отстойники:

$$Q_{\text{го}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{соб}}^{\text{сф}} + Q_{\text{соб}}^{\text{го}}, \qquad (5.27)$$

где $Q_{\text{полн}}$ – полная производительность станции (на летний период/ на зимний период); $Q_{\text{соб}}^{\text{сф}}$ – расход воды на собственные нужды скорых фильтров; $Q_{\text{соб}}^{\text{го}}$ – расход воды на собственные нужды горизонтальных отстойников.

$$Q_{\text{соб}}^{\text{го}} = \text{К}_{\text{р}} Q_{\text{соб}}^{\text{сф}} \frac{(C_{\text{в}} - \text{М})}{\delta}, \qquad (5.28)$$

где $\text{К}_{\text{р}}$ – коэффициент разбавления осадка, при удалении осадка гидравлическим способом $\text{К}_{\text{р}} = 1{,}5$; $C_{\text{в}}$ – концентрация взвешенных веществ в воде; δ – средняя по всей высоте осадочной части концентрация твердой фазы в осадке в зависимости от мутности воды и продолжительности интервалов между сбросами: при интервале

между сбросами осадка 24 ч и более принята для летнего периода – 60000 г/м^3, для зимнего – 40000 г/м^3.

$$C = \text{М}_0 + \text{К}_\text{к}\text{Д}_\text{к} + 0{,}25\,\text{Ц} + \text{В}_\text{и}, \qquad (5.29)$$

где M_0 – количество взвешенных веществ в исходной воде; $\text{К}_\text{к}$ – коэффициент, для очищенного сернокислого алюминия 0,5; $\text{Д}_\text{к}$ – доза коагулянта по безводному продукту; Ц – цветность исходной воды; $\text{В}_\text{и}$ – количество не растворимых веществ, вводимых с известью, г/м^3 (учитывается в случае использования извести для подщелачивания).

Площадка горизонтальных отстойников в плане F_0, м^2:

$$F_0 = \frac{L_\text{об} Q_\text{час}}{3{,}6 U_\text{о}}, \qquad (5.30)$$

где $Q_\text{час}$ – часовой расход, м^3/ч; $L_\text{об}$ – коэффициент объемного использования 1,3; U_0 – скорость выпадения взвеси для летнего периода – 0,5 мм/с для мутных вод; для зимнего периода – 0,45 мм/с для вод средней мутности.

Расчетная площадь ГО соответствует наибольшему значению площади для периода min мутности при min зимнем расходе.

Длина отстойника, м:

$$L_0 = \frac{H_\text{ср} v_\text{ср}}{U_\text{о}}, \qquad (5.31)$$

где $H_\text{ср}$ – средняя высота зоны осаждения 3м; $v_\text{ср}$ – расчетная скорость горизонтального движения воды в начале отстойника 7 мм/с; U_0 – скорость выпадения взвеси для вод средней мутности, обрабатываемых коагулянтом, с учетом прил. 2 – 0,45 мм/с.

Количество самостоятельно действующих секций:

$$N_\text{р} = \frac{F_0}{L_\text{о} b}, \qquad (5.32)$$

где b – ширина первой секции, принимается 3 или 6 м.

Расчетная площадь отстойников:

$$F_\text{отст} = L_\text{о} b N_\text{р}. \qquad (5.33)$$

Объем зоны накопления и уплотнения осадков в первой зоне секции отстойника:

$$W_\text{зн} = \frac{T_\text{р} Q_\text{час} (C_\text{в} - M)}{N_p \delta}, \qquad (5.34)$$

где $T_р$ – период работы между сбросами осадка 24 ч; $Q_{час}$ – часовой расход воды, подаваемой на горизонтальные отстойники в летний период; M – мутность воды, выходящей из отстойника, M = 15 г/м^3; $C_в$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающих в отстойник, г/м^3; δ – средняя по всей высоте осадочной части концентрация твердой фазы в осадке.

Площадь одной секции отстойника:

$$f_0 = \frac{F_{отст}}{N_p}. \quad (5.35)$$

Высота зоны накопления или удаления осадка:

$$H_{зн} = \frac{W_{зн}}{f_0}. \quad (5.36)$$

Полная высота отстойника:

$$H = H_{ср} + H_{зн} + H_с, \quad (5.37)$$

где $H_с$ – строительная высота, $H_с$ = 0,3 м; $H_{ср}$ – средняя высота осаждения, $H_{ср}$ = 3 м; $H_{зн}$ – высота зоны накопления и уплотнения осадка.

Количество воды, сбрасываемой из отстойника вместе с осадком:

$$W_{ос} = 1{,}5 W_{зн}, \quad (5.38)$$

где $W_{зн}$ – объем зоны накопления и удаления осадка; 1,5 – коэффициент разбавления при гидравлическом удалении осадка.

Расход осадка, отводимого из ГО по перфорированным трубам:

$$q_{ос} = \frac{W_{ос}}{t}, \quad (5.39)$$

где $W_{ос}$ – количество воды, сбрасываемой из отстойника вместе с осадком; t – время удаления осадка, 1200 с.

Площадь живого сечения перфорированной трубы для сбора осадка:

$$\omega_{со} = \frac{q_{ос}}{v_{ос}}, \quad (5.40)$$

где $v_{ос}$ – скорость движения осадка в конце трубы, 1 м/с.

Диаметр перфорированной трубы для сбора осадка:

$$d_{\text{со}} = \sqrt{\frac{4\omega_{\text{со}}}{\pi}}. \qquad (5.41)$$

После принятия диаметра проверяем фактическое живое сечение трубы при принятом диаметре $d_{\text{со.пр}}$:

$$\omega_{\text{со.пр}} = \frac{\pi d_{\text{со.пр}}}{4}. \qquad (5.42)$$

Суммарная площадь отверстий $\omega_{\text{отв}}$, м:

$$\omega_{\text{отв}} = 0{,}7\omega_{\text{со}}. \qquad (5.43)$$

Количество отверстий в одном ряду:

$$n_{\text{отв}} = \frac{L_{\text{о}}}{l_{\text{отв}}} - 1, \qquad (5.44)$$

$l_{\text{отв}}$ – расстояние между отверстиями принимается 0,3–0,5 м.

Общее количество отверстий в перфорированной трубе для сбора осадка:

$$N_{\text{отв}} = 2n_{\text{отв}} - 1. \qquad (5.45)$$

Площадь одного отверстия, м^2:

$$\omega^1_{\text{отв}} = \frac{\omega_{\text{отв}}}{N_{\text{отв}}}. \qquad (5.46)$$

Диаметр одного отверстия:

$$d_{\text{отв}} = \sqrt{\frac{4\omega^1_{\text{отв}}}{\pi}}. \qquad (5.47)$$

Проверка скорости движения осадка:

$$v_{\text{отв}} = \frac{W_{\text{ос}}}{t\omega_{\text{со.пр}}}. \qquad (5.48)$$

Фактическая расчетная скорость должна быть не менее 1 м/с.

Потери напора в сборной системе осадка:

$$h = \xi\frac{v^2_{\text{кол}}}{2g} + \frac{v^2_{\text{отв}}}{2g}, \qquad (5.49)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления для распределительной трубы с круглыми отверстиями; $v_{\text{кол}}$ – скорость движения воды в коллекторе, принимается 1÷1,5 м/с; $v_{\text{отв}}$ – скорость движения воды в ответвлении.

$$\xi = \frac{2{,}2}{\text{К}^2_{\text{р}}} + 1, \qquad (5.50)$$

где $К_р$ – коэффициент перфорации – отношение суммарной площади отверстий к площади поперечного сечения прямолинейной трубы, см. выше.

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных с указанием габаритов рассчитанных сооружений и их количества.

Проверочные вопросы

1. Сооружения для отстаивания речной воды.
2. Принцип работы вертикального отстойника.
3. Принцип работы горизонтального отстойника.
4. Оптимальные скоростные режимы работы сооружений.
5. Способы повышения эффективности работы сооружений.

Практическая работа №6
Расчет сооружений для осветления воды
(осветлителей со слоем взвешенного осадка)

Цель работы: понять принцип работы сооружений. Получить навыки расчета сооружений для осветления воды.

Порядок выполнения:

Осветлители со взвешенным осадком применяют для удаления из воды коагулированной взвеси, при производительности станции от 5000 $м^3$/сут до 30000 $м^3$/сут, мутности воды до 1500 мг/л и цветности – до 120°. Осветлители со взвешенным осадком (ОВО) являются сооружениями первой ступени очистки. Проектируют прямоугольной или круглой формы. Наибольшее распространение получили прямоугольные осветлители с вертикальным осадкоуплотнителем коридорного типа (рис. 6.1).

Расчет осветлителей производят с учетом годовых колебаний качества обрабатываемой воды. При отсутствии данных технологических исследований скорость восходящего потока в зоне осветления и коэффициент распределения воды между зоной осветления и зоной отделения осадка принимают по данным [1].

Площадь зоны осветления:

$$F_{осв} = \frac{Q_{час} К_р}{3{,}6 v_{осв}}, \qquad (6.1)$$

где $Q_{час}$ – производительность станции, м^3/ч; $К_р$ – коэффициент распределения воды между зонами осветления и отделения осадка, принимаемый 0,7; $v_{осв}$ – скорость восходящего потока воды в зоне осветления, 1 мм/с.

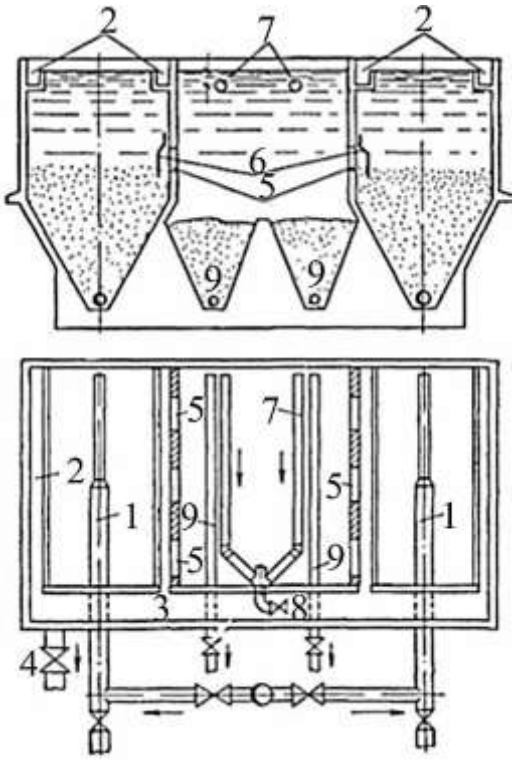

Рис. 6.1. Прямоугольный осветлитель
с вертикальным осадкоуплотнителем коридорного типа:
1 – подача воды; 2 – сборные желоба; 3 – сборный лоток; 4 – отводящая труба; 5 – окна; 6 – козырьки; 7 – отвод воды из осадкоуплотнителя; 8 – задвижки; 9 – дырчатые трубы для удаления осадка

Площадь зоны накопления и уплотнения осадка, м^2:

$$F_н = \frac{Q_{час}(1 - К_р)}{3{,}6 v_{осв}}. \qquad (6.2)$$

Число осветлителей N определяют из условия, что площадь одного не превышает 100 м^2. При количестве осветлителей менее 6 принимают один резервный.

Площадь каждого коридора осветления, м^2:

$$f_{\text{кор}} = \frac{F_{\text{осв}}}{2N_p}, \tag{6.3}$$

где $N_{\text{р}}$ – количество рабочих осветлителей;

Площадь каждого осадконакопителя, м^2:

$$f_{\text{н}} = \frac{F_{\text{н}}}{N_{\text{о}}}. \tag{6.4}$$

Длину коридора осветления определяют по формуле

$$l_{\text{кор}} = \frac{f_{\text{кор}}}{B_{\text{кор}}}, \tag{6.5}$$

где $B_{\text{кор}}$ – ширина коридора осветления, м. Ширину коридоров осветления принимают в соответствии с размерами балок 3 и 6 м.

Ширина осадконакопителя:

$$B_{\text{н}} = \frac{f_{\text{н}}}{l_{\text{кор}}}. \tag{6.6}$$

Удаление осадка из осадкоуплотнителя производят без остановки осветлителя. Дырчатые трубы для удаления осадка рассчитывают из условия отведения накопившегося осадка в течение 0,25÷0,33 ч (диаметр труб должен быть не менее 150 мм). Расстояние между трубами принимают не более 3 м. Диаметр отверстий в трубах должен быть не менее 20 мм, а расстояние между отверстиями – не более 0,5 м. Скорость движения осадка в отверстиях дырчатых труб не должна превышать 3 м/с.

Расход в осадкосбросных трубах определяют по формуле

$$q_{\text{о}} = \frac{W_{\text{н}}}{t}, \tag{6.7}$$

где $q_{\text{о}}$ – расход в осадкоосбросных трубах, м^3/ч; $W_{\text{н}}$ – объем зоны накопления и уплотнения осадка, м^3; t – время удаления осадка, 0,25 ч.

Объем зоны накопления и уплотнения осадка:

$$W_{\text{н}} = \frac{T_{\text{р}} Q_{\text{час}} (C_{\text{в}} - M)}{\delta N}, \tag{6.8}$$

где $T_{\text{р}}$ – период работы между сбросами осадка, принят равным 12 ч; $Q_{\text{час}}$ – производительность станции, м^3/ч, расчет см. выше; $C_{\text{в}}$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающих в отстойник, г/м^3; M – мутность воды, выходящей из отстойника, принята в пределах 8–15 г/м^3; δ – средняя по всей высоте осадочной

части концентрация твердой фазы осадка, принята в зависимости от мутности и периода работы между сбросами осадка равной 50000 г/м^3.

$$C_{\text{в}} = \text{М}_0 + \text{К}_{\text{к}}\text{Д}_{\text{к}} + 0{,}25\,\text{Ц} + B_{\text{и}}, \qquad (6.9)$$

где M_0 – количество взвешенных веществ в исходной воде, г/м^3; $\text{К}_{\text{к}}$ – коэффициент, принят для очищенного сернокислого алюминия равным 0,5; $\text{Д}_{\text{к}}$ – доза коагулянта по безводному продукту, мг/л; Ц – цветность исходной воды, град., принята по заданию; $B_{\text{и}}$ – количество нерастворимых веществ вводимых с известью, г/м^3, учитывается в случае применения.

Диаметр осадкосбросного трубопровода определяют по формуле

$$d_{\text{о}} = \sqrt{\frac{4q_{\text{о}}}{\pi v_{\text{о}} n_{\text{о}}}}, \qquad (6.10)$$

где $d_{\text{о}}$ – диаметр осадкосбросного трубопровода, м; $q_{\text{о}}$ – расход в осадкосбросных трубах, м^3/с; $v_{\text{о}}$ – скорость движения воды с осадком на выходе из осадкосбросной трубы, принимают не менее 1 м/с; $n_{\text{о}}$ – количество осадкосбросных труб, принимают $n_{\text{о}} = 2$.

Подачу воды в осветлитель осуществляют с помощью дырчатого коллектора, диаметр которого определяют по формуле

$$d_{\text{кол}} = \sqrt{\frac{4q}{\pi v n_{\text{р}}}}, \qquad (6.11)$$

где $d_{\text{кол}}$ – диаметр дырчатого коллектора, м; q – производительность станции, м^3/с; $n_{\text{р}}$ – количество рабочих осветлителей; v – скорость движения воды на входе в коллектор, равная 0,5–6 м/с.

Отверстия в коллекторе принимают диаметром не более 25 мм и располагают в шахматном порядке в нижней части трубы под углом 45° к ее оси на расстоянии не более 0,5 м между ними. Скорость движения воды на выходе из отверстий – 1,5–2 м/с.

Сбор осветленной воды в зоне осветления предусматривают желобами с треугольными водосливами высотой 40–60 мм. Расстояние между осями водосливов – 100÷150 мм.

Расход воды в одном желобе определяют по формуле

$$q_{\text{ж}} = \frac{K_{\text{р}} q}{4N_{\text{р}}}, \qquad (6.12)$$

где $q_ж$ – расход воды в одном желобе, м^3/с; q – производительность станции, м^3/с.

Расстояние между желобами не должно быть более 3 м. Расчетная скорость движения воды в желобах 0,5–0,6 м/с.

Площадь желоба, м^2:

$$F_ж = \frac{q_ж}{v}, \tag{6.13}$$

где v – скорость движения воды в желобе, 0,5 м/с.

Ширина желоба, м:

$$b_ж = \frac{F_ж}{h_{сл}}, \tag{6.14}$$

где $h_{сл}$ – высота слоя воды в желобе, 0,1 м

Для отвода избыточного осадка из зоны осветления в осадкоуплотнитель служат осадкоприемные окна, площадь которых с каждой стороны осадкоуплотнителя определяют по формуле

$$f_{ок} = \frac{(1 - К_р)q}{2N_р v_{ок}}, \tag{6.15}$$

где $f_{ок}$ – площадь осадкоприемных окон с каждой стороны осадкоуплотнителя, м^2; q – производительность станции, м^3/с; $v_{ок}$ – скорость движения воды с осадком в осадкоприемных окнах, равная 0,01÷0,015 м/с.

Высоту окна принимают равной $h_{ок}$ = 0,2 м.

Общую длину окон определяют по формуле

$$l_{ок} = \frac{f_{ок}}{h_{ок}}. \tag{6.16}$$

где $l_{ок}$ – общая длина окон, м; $h_{ок}$ – высота окон, м.

По принятому числу окон определяют размеры каждого окна и расстояние между ними.

Высота слоя взвешенного осадка в зоне осветления может быть определена по формуле, но не должна превышать 2–2,5 м.

$$h_{во} = h_{верт} + 0{,}5\ h_{пир}, \tag{6.17}$$

где $h_{во}$ – высота слоя взвешенного осадка, м; $h_{верт}$ – высота зоны взвешенного осадка выше перехода стенок осветления до нижней кромки осадкоприемных окон, равная 1,5 м; $h_{пир}$ – высота пирамидальной части осветлителя, м.

Высоту пирамидальной части осветлителя определяют по формуле

$$h_{\text{пир}} = \frac{B_{\text{кор}} - a}{2\,\text{tg}\,\dfrac{\alpha}{2}}, \qquad (6.18)$$

где $B_{\text{кор}}$ – принятая ширина коридора, м; a – ширина коридора по низу (под распределительным коллектором) 0,5 м; α – угол между наклонными стенками нижней части зоны взвешенного осадка, принят равным 60°.

Полная высота осветлителя,

$$H = h_{\text{зо}} + h_{\text{верт}} + h_{\text{во}} + h_{\text{с}}, \qquad (6.19)$$

где H – полная высота осветлителя, м; $h_{\text{зо}}$ – высота зоны осветления (от нижней кромки осадкоприемных окон до поверхности воды в осветлителе), равная 2–2,5 м; $h_{\text{с}}$ – строительная высота, равная 0,3 м.

Сбор осветленной воды в верхней части осадкоуплотнителя осуществляется с помощью одной или двух дырчатых труб, располагаемых на 30 см ниже поверхности воды в осветлителе и не менее чем па 1,5 м выше верха осадкоприемных окон.

Расход воды в одной трубе определяется по формуле:

$$q_{\text{тр}} = \left[(1 - \text{К}_{\text{р}}) - \frac{\text{К}_{\text{р}}(C_{\text{в}} - M)}{\delta}\right]\frac{Q_{\text{час}}}{nN_{\text{р}}}, \qquad (6.20)$$

где $q_{\text{тр}}$ – расход воды в одной трубе м^3/ч; $Q_{\text{час}}$ – производительность станции, м^3/ч; $C_{\text{в}}$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающих в осветлитель, г/м^3; M – мутность воды, выходящей из осветлителя, г/м^3, принимаемая в пределах от 8 до 15 г/м^3; δ – средняя по всей высоте осадкоуплотнителя концентрация твердой фазы осадка, г/м^3, принимаемая; n – количество водоотводящих труб, n = 2 шт.

По полученному расходу определяем необходимый диаметр сборной дырчатой трубы.

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных с указанием габаритов рассчитанных сооружений и их количества

Проверочные вопросы

1. Назначение осветлителей со взвешенным осадком.
2. Принцип работы осветлителя.
3. Условия применения осветлителей.
4. В качестве чего выступает взвешенный слой.
5. Скоростные режимы работы осветлителя.

Практическая работа №7
Расчет контактных префильтров, контактных осветлителей

Цель работы: понять принцип работы сооружений. Получить навыки расчета сооружений для осветления воды.

Порядок выполнения

1. Контактные префильтры (КПФ) осуществляют предварительную очистку воды в схеме двухступенчатого фильтрования перед ее окончательной очисткой на скорых фильтрах. Конструкция КПФ аналогична конструкции контактным осветлителям (КО) с гравийными слоями и водовоздушной промывкой. *Детальный расчет КПФ и КО одинаков*.

Расход воды, м^3/сут, поступающей на КПФ:

$$Q_{\text{кпф}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{соб}}^{\text{сф}} + Q_{\text{соб}}^{\text{кпф}}, \tag{7.1}$$

$$Q_{\text{соб}}^{\text{сф}} = N_{\text{ф}} n_{\text{ф}}^{\text{пр}} q_{\text{ф}}^{\text{пр}}, \tag{7.2}$$

где $N_{\text{ф}}$ – количество принятых скорых фильтров; $n_{\text{ф}}^{\text{пр}}$ – количество промывок скорого фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации (из расчета фильтров), $q_{\text{ф}}^{\text{пр}}$ – суточный расход воды на промывку фильтров:

$$q_{\text{ф}}^{\text{пр}} = q_{\text{пр}} F_1, \tag{7.3}$$

где $q_{пр}$ – удельный расход воды на одну промывку одного фильтра (из расчета фильтров); F_1 – площадь одного скорого фильтра (из расчета фильтров).

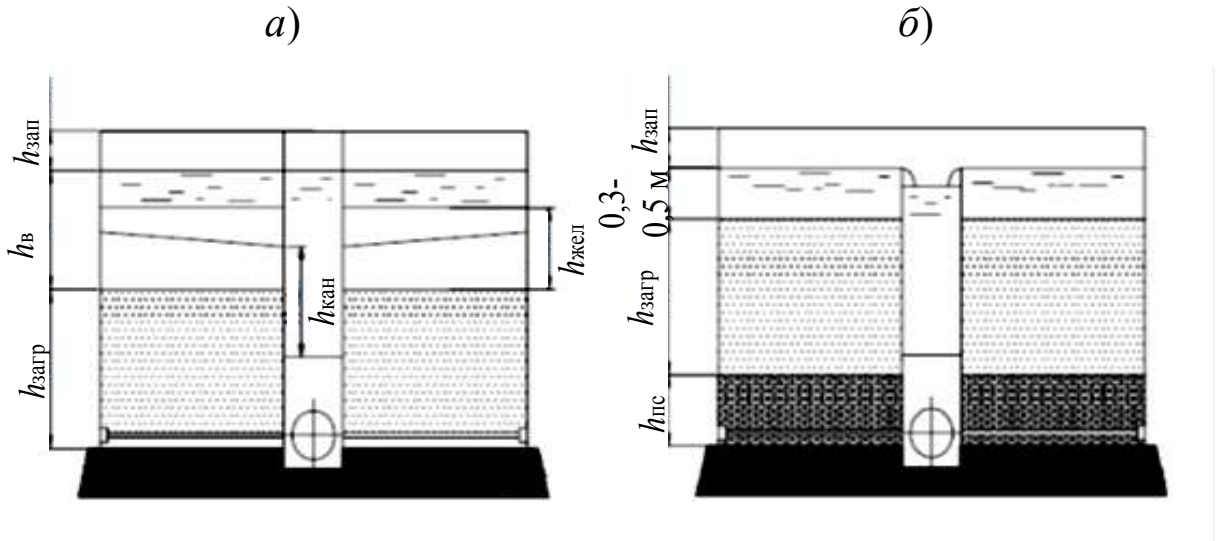

Рис. 7.1. Контактный префильтр, контактный осветлитель:
а – без поддерживающих слоев; *б* – с поддерживающими слоями

Общую площадь КПФ определяют по формуле

$$F_{кпф} = \frac{Q_{кпф}}{T_{ст}v_н - n_{пр}\left(q_{пр} + \tau_{пр}v_н + \frac{v_н\tau_{ст}}{60}\right)}, \qquad (7.4)$$

где $T_{ст}$ – продолжительность работы станции в течение суток 24 ч; v_H – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме в пределах 5,5–6,5 м/ч; $n_{пр}$ – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации 2 раза в сутки; $\tau_{пр}$ – время простоя фильтра в связи с промывкой, принимаемое для фильтров 0,5 час; $q_{пр}$ – удельный расход воды на промывку одного префильтра 3,24 м^3/м^2; $\tau_{ст}$ – продолжительность сброса первого фильтрата в пределах 5÷10 мин.

Удельный расход воды на одну промывку одного префильтра при водовоздушной промывке:

$$q_{пр} = \frac{60(W_2t_2 + W_3t_3)}{1000}, \qquad (7.5)$$

где W_2 – интенсивность промывки при подаче воздуха, л/(с·м^2) в пределах 3–3,5 л/(с·м^2); W_3 – интенсивность дополнительной

промывки водой, л/(с·м^2) в пределах 6–7 л/(с·м^2); t_2 – продолжительность промывки, при подаче воздуха, согласно в пределах 6–7 мин; t_3 – продолжительность дополнительной промывки водой, в пределах 5–7 мин.

Количество контактных префильтров, шт.:

$$N_{\text{кпф}} = 0{,}5\sqrt{F_{\text{кпф}}}. \tag{7.6}$$

Площадь одного контактного префильтр, м^2:

$$F_1 = \frac{F_{\text{кпф}}}{N_{\text{кпф}}}. \tag{7.7}$$

Общая расчетная площадь всех контактных префильтров, м^2:

$$F'_{\text{кпф}} = F_1 N_{\text{кпф}}. \tag{7.8}$$

Проверка скоростей фильтрации.

Скорость фильтрования при нормальном режиме v_n, м/ч:

$$v_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{кпф}} + n_{\text{пр}} q_{\text{пр}} F'_{\text{кпф}}}{F'_{\text{кпф}}\left(T_{\text{ст}} - n_{\text{пр}}\tau_{\text{пр}} - \dfrac{n_{\text{пр}}\tau_{\text{ст}}}{60}\right)}. \tag{7.9}$$

Скорость фактическая должна находиться в пределах 5,5–6,5 м/ч. В случай превышения нормативной скорости, необходимо увеличить количество префильтров, или площадь префильтров если площадь одной секции не превышает максимально допустимой величины 120 м^2. В случае изменения одного из параметров производится перерасчет скорости фильтрования в нормальном режиме на новые условия.

В случае, если площадь одного префильтра > 30 м^2, принимаем конструктивно префильтр с центральным каналом. Если площадь менее 30 м^2 принимаем префильтр с боковым карманом.

По полученной величине площади префильтра принимаем размеры сооружения в плане ($b_{\text{кпф}} \times l_{\text{кпф}}$). При устройстве префильтра с боковым карманом размер будет задаваться из полной площади F_1.

При устройстве префильтра с центральным каналом размер будет задаваться по площади $F_1/2$ (2 секции префильтра, соединенные между собой центральным каналом, по аналогии со скорыми фильтрами).

Скорость фильтрования при форсированном режиме $v_{\text{ф}}$, м/ч:

$$v_{ф} = \frac{v_{н} N_{кпф}}{N_{кпф} - N_1}, \qquad (7.10)$$

где $v_{ф}$ – скорость фильтрования при форсированном режиме, должна находиться в пределах 6,5–7,5 м/ч; N_1 – число фильтров, находящихся в ремонте, принимается согласно [1].

Трубчатая распределительная система, предназначенная для сбора фильтрата и подачи промывной воды, рассчитана по промывному расходу.

Промывной расход, л/с:

$$q_{пр} = w_2 F_1, \qquad (7.11)$$

где w_2 – интенсивность дополнительной промывки водой в пределах 6–7 л/(с·м^2);

Диаметр коллектора распределительной системы $d_к$, м:

$$d_к = \sqrt{\frac{4 q_{пр}}{\pi v_к}}, \qquad (7.12)$$

где $q_{пр}$ – промывной расход, м^3/с, см. выше; $v_к$ – скорость движения воды в коллекторе, принимаемая в пределах 0,8–1,2 м/с.

Проверка скоростей при принятой величине коллектора $d_к$:

$$v_к = \frac{4 q_{пр}}{\pi d_к^2}. \qquad (7.13)$$

Количество ответвлений дренажной системы, шт.:

$$n_{ответвл} = \frac{2 l_к}{a}. \qquad (7.14)$$

где $l_к$ – длина стороны префильтра в направлении оси центрального канала:

$$l_к = l_{кпф} - b, \qquad (7.15)$$

где b – строительный запас, принимаемый конструктивно в пределах 100–150 мм; a – расстояние между осями ответвлений, принято в пределах 0,25–0,35 м.

Диаметр ответвлений определяют по промывному расходу в одном ответвлении и скорости движения воды в нем.

Диаметр ответвлений $d_{ответвл}$, м:

$$d_{ответвл} = \sqrt{\frac{4 q_{ответвл}}{\pi v_{отв}}}, \qquad (7.16)$$

где $q_{\text{ответвл}}$ – расход в одном ответвлении, м^3/с:

$$q_{\text{ответвл}} = q_{\text{пр}} / n_{\text{ответвл}}, \tag{7.17}$$

$v_{\text{ответвл}}$ – скорость движения воды в ответвлении, принята в пределах 1,6–2 м/с.

Проверка скорости движения воды в ответвлениях при принятом $d_{\text{ответвл}}$, м/с:

$$v_{\text{ответвл}} = \frac{4q_{\text{ответвл}}}{\pi d^2_{\text{ответвл}}}. \tag{7.18}$$

На ответвлениях, при наличии поддерживающих слоев, предусмотрены отверстия диаметром $d_{\text{отв}}$ = 10 мм (0,01 м) на расстоянии 150 мм друг от друга. Отверстия расположены в два ряда в шахматном порядке под углом 45° к низу от вертикали. Общая площадь отверстий должна составлять 0,25–0,35 % рабочей площади фильтра.

Площадь отверстий в одном префильтре должна находиться в пределах (0,25÷0,35 %) F_1, где F_1 – площадь одного префильтра, м.

Ответвления дренажной системы – из пластмассовых труб – укладывают в нижних слоях гравия и присоединяют к коллектору.

Количество отверстий на распределительной трубе с одной стороны, шт.:

$$n_{\text{отв}} = \frac{l_{\text{ответвл}}}{a_{\text{отв}}}, \tag{7.19}$$

где $l_{\text{ответвл}}$ – ширина одной секции префильтра: $l_{\text{ответвл}} = b_{\text{кпф}} - b$; b – строительный запас, принимаемый конструктивно в пределах 100–150 мм; $a_{\text{отв}}$ – расстояние между отверстиями на распределительной трубе, в пределах 150÷200 мм.

Количество отверстий на одном ответвлении:

$$n^1_{\text{отв}} = 2n_{\text{отв}} - 1. \tag{7.20}$$

Общее количество отверстий в 1 КПФ, шт.:

$$\sum n^{1\,\text{кпф}}_{\text{отв}} = n_{\text{отв}} n_{\text{ответвл}}. \tag{7.21}$$

Площадь одного отверстия, м^2.

$$f^1_{\text{отв}} = \frac{\pi d^2_{\text{отв}}}{4}, \tag{7.22}$$

где $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстиия (см. выше).

Общая площадь отверстий в одном префильтре

$$\sum F_{\text{отв}}^{1\text{кпф}} = f_{\text{отв}}^{1} \sum n_{\text{отв}}^{1\text{кпф}}. \qquad (7.23)$$

Полная высота префильтра, м

$$H_{\text{кпф}} = H_{\text{пс}} + H_{\text{з}} + H_{\text{в}} + H_{\text{доп}} + h_{\text{с}}, \qquad (7.24)$$

где $H_{\text{пс}}$ – высота поддерживающих слоев ($H_{40–20}$ – высота слоя, крупностью зерен 40÷20 мм, в пределах 0,20–0,25 м; $H_{20–10}$ – высота слоя, крупностью зерен 20÷10 мм, в пределах 0,10–0,15 м; $H_{10–5}$ – высота слоя крупностью зерен 10–5 мм, в пределах 0,10÷0,15 м); $H_{\text{з}}$ – высота фильтрующей загрузки, принята для загрузки крупностью зерен 5–2 мм – 0,5÷0,6 м; для крупности зерен 2–1 мм – 2÷2,3 м. Общая высота фильтрующей загрузки 2,5 м; $H_{\text{в}}$ – высота слоя воды над фильтрующей загрузкой, должна быть 0,3–0,5 м; $H_{\text{с}}$ – превышение строительной высоты над уровнем воды, должна быть не менее 0,5 м; $H_{\text{доп}}$ – дополнительная высота, м.

Дополнительная высота, м:

$$H_{\text{доп}} = \frac{W_{\text{о}}}{\sum F_{\text{кпф}}}, \qquad (7.25)$$

где $W_{\text{о}}$ – объем воды, м^3, накапливающейся за время простоя одновременно промываемых префильтров; $\sum F_{\text{кпф}}$ – общая площадь всех префильтров за исключением тех, которые находятся на промывке и которые находятся на ремонте ($n_{\text{пром+рем}}$).

$$\sum F_{\text{кпф}} = F_1 (N_{\text{кпф}} - n_{\text{пром+рем}}). \qquad (7.26)$$

Объем воды, накапливающейся за время простоя одновременно промываемых префильтров, м^3:

$$W_{\text{о}} = \frac{Q_{\text{кпф}}}{T_{\text{ст}} (N_{\text{кпф}} - n_{\text{пром}})} t_{\text{простоя}}, \qquad (7.27)$$

где $Q_{\text{кпф}}$ – расход воды, поступающей на контактные префильтры, расчет см. выше; $N_{\text{кпф}}$ – количество префильтров, расчет см. выше; $T_{\text{ст}}$ – продолжительность работы станции в течение суток; $t_{\text{простоя}}$ – время простоя префильтра в связи с промывкой, принято для водовоздушной промывки 0,5 часа.

Потери напора в дренажной системе h, м:

$$h = \xi \frac{v_{\text{к}}^2}{2g} + \frac{v_{\text{отв}}^2}{2g}, \qquad (7.28)$$

где $v_{\text{к}}$ – скорость движения воды в начале коллектора, м/с (см. выше); $v_{\text{отв}}$ – средняя скорость на входе в ответвления, м/с (см. выше); g – ускорение свободного падения, м/с; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления для прямолинейной распределительной трубы с ответвлениями с круглыми отверстиями:

$$\xi = \frac{2{,}2}{\text{К}_{\text{п}}^2} + 1, \qquad (7.29)$$

где $\text{К}_{\text{п}}$ – коэффициент перфорации – отношение суммарной площади отверстий к площади поперечного сечения коллектора, находится в пределах 0,15÷2.

Коэффициент перфорации $\text{К}_{\text{п}}$:

$$\text{К}_{\text{п}} = \frac{\sum F_{\text{отв}}^{1\text{кпф}}}{F_{\text{сеч.кол}}}, \qquad (7.30)$$

где $\sum F_{\text{отв}}^{1\text{кпф}}$ – общая площадь отверстий в одном префильтре, расчет см. выше; $F_{\text{сеч.кол}}$ – площадь поперечного сечения коллектора, м^2.

Площадь поперечного сечения коллектора, м^2:

$$F_{\text{сеч.кол}} = \frac{\pi d_{\text{к}}^2}{4}, \qquad (7.31)$$

где $d_{\text{к}}$ – диаметр коллектора, см. выше.

Потери напора в дренажной системе при промывке фильтра не должны превышать 7 м.

Промывка префильтров предусмотрена водой, очищенной на фильтрах (из РЧВ). Подача воды на промывку префильтров осуществляется промывными насосами, установленными либо непосредственно в НС-2, либо в промывной НС.

Скорость движения воды в трубопроводах, подающих и отводящих промывную воду, следует принимать в пределах 1,5–2 м/с.

Опорожнение префильтра предусматривают через распределительную систему и отдельную спускную трубу диаметром 100–200 мм.

2. Контактные осветлители

Конструктивно контактные осветлители (КО) близки к СФ, только подача воды при рабочем процессе осуществляется в нижнюю часть сооружения. Контактные осветлители, промываемые водой, надлежит предусматривать без поддерживающих слоев, при промывке водой и воздухом – с поддерживающими слоями. Основные характеристики для расчета КО рекомендуется принимать согласно [1]. Конструкции КО приведены на рис. 1.

Контактные осветлители являются разновидностью скорых безнапорных фильтров, которые работают по принципу пропускания обрабатываемой коагулянтом воды через слой зернистой загрузки снизу вверх. Их применяют на станциях любой производительности при мутности исходной воды не более 120 мг/л и цветности не более 120 град.

Обычно их применяют совместно с барабанными сетками (БС) и микрофильтрами (МФ), если это с качеством воды в источнике.

Промывку БС и МФ осуществляют водой, прошедшей через них. Расход воды на промывку определяют по формуле

$$q_{\text{пр}} = \text{К}Q, \qquad (7.32)$$

где $q_{\text{пр}}$ – расход воды на промывку, м^3/сут; Q – полная расчетная производительность очистной станции, м^3/сут; К – коэффициент, равный для барабанных сеток 0,005, микрофильтров – 0,015.

Расчет входной камеры выполняют аналогично расчету вихревого (вертикального) смесителя, но с учетом следующих изменений: угол между наклонными стенками нижней части входной камеры принимают равным 45°; высоту верхней части входной камеры принимают равной 3–3,5 м.

Превышение уровня воды во входной камере над уровнем в контактном осветлителе определяют по формуле

$$H_{\text{у}} = 0{,}8h_{\text{з}} + h_{\text{с}}, \qquad (7.33)$$

где $H_{\text{у}}$ – превышение уровня воды во входной камере над уровнем в контактном осветлителе, м; $h_{\text{з}}$ – предельно допустимая потеря напора в песчаном слое загрузки, принимаемая равной высоте его

слоя, м; h_c – сумма всех потерь напора на пути движения воды от входной камеры до загрузки осветлителя, м.

Контактные осветлители при промывке водой предусматривают без поддерживающих слоев (рис. 7.1), при промывке водой и воздухом – с поддерживающими слоями. В табл. 7.1 приведены крупность зерен, высота поддерживающих и песчаных слоев.

Для контактных осветлителей с поддерживающими слоями верхняя граница крупностью 40–20 мм должна бить на уровне верха трубы распределительной системы. Общая высота загрузки (с учетом песчаного слоя) не должна превышать 3 м.

Таблица 7.1

Крупность зерен, высота поддерживающих и песчаных слоев

Крупность зерен гравия и песка, мм	Высота гравийных и песчаных слоев, м	
	без поддерживающих слоев	с поддерживающими слоями
40–20	–	0,2–0,25
20–10	–	0,1–0,15
10–5	–	0,15–0,2
5–2	0,5–0,6	0,3–0,4
2–1,2	1–2	1,2–1,3
1,2–0,7	0,8–1	0,3–1

Скорость фильтрования в контактный: осветлителях принимают: без поддерживающих слоев при нормальном режиме – 4÷5 м/ч, при форсированном – 5÷5,5 м/ч; с поддерживающими слоями при нормальном режиме – 5÷5,5 м/ч, при форсированном – 5,5÷6 м/ч.

Для промывки контактных осветлителей используют очищенную воду. Допускается использование неочищенной воды при следующих условиях: мутность воды не должна превышать 50 КОЕ/1 мл по ОМЧ; вода должна быть предварительно обработана на барабанных сетках или микрофильтрах и обеззаражена. При использовании очищенной воды предусматривают разрыв струи перед подачей воды в емкость для хранения промывной воды.

Непосредственная подача воды на промывку из трубопроводов и резервуаров фильтрованной воды (РЧВ) не допускается.

Общую площадь контактных осветлителей определяют по формуле

$$F_{\text{ко}} = \frac{Q_{\text{полн}}}{T_{\text{ст}} v_{\text{н}} - 3{,}6 n \omega t_1 - n t_2 v_{\text{н}} - n t_3}, \qquad (7.34)$$

где $F_{\text{ко}}$ – общая площадь контактных осветлителей, м^2; $T_{\text{ст}}$ – продолжительность работы станции в течение суток, 24 ч; $v_{\text{н}}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, 4÷5 м/ч; n – число промывок одного контактного осветлителя в сутки при нормальном режиме эксплуатации (2–3 промывки); ω – интенсивность промывки контактного осветлителя при промывке водой, принимают равной 15÷18 л/(с·м^2); t_1 – продолжительность промывки, при промывке водой принимают равной 0,117–0,133 ч; t_2 – время простоя контактного осветлителя в связи с промывкой, при промывке водой принимают равным 0,33 ч; t_3 – продолжительность сброса первого фильтрата принимают равной: при промывке очищенной водой 0,167÷0,2 ч, неочищенной водой – 0,2÷0,25 ч.

Водовоздушную промывку контактных осветлителей предусматривают со следующим режимом: взрыхление загрузки воздухом с интенсивностью 18÷20 л/(с·м^2) в течение 1–2 мин; совместная водовоздушная промывка при подаче воздуха с интенсивностью 18÷20 л/(с·м^2) и воды – 3÷3,5 л/(с·м^2) в течение 6÷7 мин; дополнительная промывка водой с интенсивностью 6÷7 л/(с·м^2) в течение 5÷7 мин. Продолжительность сброса первого фильтрата при промывке очищенной водой – 5÷10 мин, неочищенной – 10÷15 мин.

Количество осветлителей на станции определяют так же, как и количество фильтров. Осветлители площадью до 30 м^2, как правило, устраивают с боковым карманом, при большей площади – с центральным каналом.

В контактных осветлителях с поддерживающими слоями и водовоздушной промывкой применяют трубчатые распределительные системы для подачи воды и воздуха в систему горизонтального отвода промывной воды (без желобов).

В контактных осветлителях без поддерживающих слоев предусматривают распределительную систему с приваренными вдоль дырчатых труб боковыми шторками, между которыми приваривают поперечные перегородки, разделяющие подтрубное пространство на ячейки. Отверстия в дырчатых трубах располагают в

два ряда в шахматном порядке под углом 30° к вертикальной оси трубы (ответвления). Диаметр отверстий – 10÷12 мм, расстояние между осями в ряду – 150÷200 мм. Распределительную систему проектируют в соответствии с табл. 7.2.

Таблица 7.2

Геометрические характеристики распределительной системы контактного осветлителя

Диаметр труб ответвлений, мм	Отношение суммарной площади отверстии к площади осветлителя, %	Расстояния, мм			
		между осями труб ответвлений	от дна осветлителя до низа шторок	от низа шторок до оси трубы ответвления	между поперечными перегородками
75	0,28–0,3	240–260	100–120	155	300–400
100	0,26–0,23	300–320	120–140	170	400–600
125	0,24–6,26	350–370	140–160	190	600–800
150	0,22–0,24	440–470	160–180	220	800–1000

В осветлителях без поддерживающих слоев для сбора промывной воды предусматривают желоба. Над кромками желобов предусматривают пластины с треугольными вырезами высотой и шириной по 50–60 мм, с расстояниями между их осями 100–150 мм.

Трубопровод, отводящий осветленную воду из осветлителя, должен быть на 100 мм выше уровня воды в сборном кармане при промывке.

Полную высоту осветлителя определяют по формуле

$$H_{ко} = h_з + h_ж + h_с, \qquad (7.35)$$

где $H_{ко}$ – полная высота контактного осветлителя, м; $h_з$ – расстояние от верхней кромки желоба до поверхности фильтрующей загрузки, м; $h_ж$ – высота желоба, $h_с$ – превышение строительной высоты осветлителя над уровнем воды, не менее 0,5 м.

Для опорожнения контактного осветлителя в нижней его части предусматривают трубопровод с запорным устройством, обеспечивающим скорость нисходящего потока воды не более 2 м/ч при наличии поддерживающих слоев и не более 0,2 м/ч – без поддерживающих слоев.

Насос для подачи промывной воды в бак (при промывке осветлителей очищенной водой) должен и обеспечивать его наполнение

за время, не больше чем интервалы между промывками осветлителей при форсированном режиме. При промывке осветлителей неочищенной водой подбор насосов для подачи промывной воды производят по величине промывного расхода.

Общая площадь контактных осветлителей также может определяться по формуле КПФ, м^2:

$$F_{\text{ко}} = \frac{Q_{\text{ко}}}{T_{\text{ст}} v_{\text{н}} - n_{\text{пр}}\left(q_{\text{пр}} + \tau_{\text{пр}} v_{\text{н}} + \frac{v_{\text{н}} \tau_{\text{ст}}}{60}\right)}, \qquad (7.36)$$

$T_{\text{ст}}$ – продолжительность работы станции в течение суток, 24 ч; $v_{\text{н}}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, в пределах 5,5–6,5 м/ч; $n_{\text{пр}}$ – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации, 2 раза в сутки; $\tau_{\text{пр}}$ – время простоя фильтра в связи с промывкой, принимаемое 0,33 ч; $q_{\text{пр}}$ – удельный расход воды на промывку одного префильтра, 3,24 м^3/м^2; $\tau_{\text{ст}}$ – продолжительность сброса первого фильтрата, в пределах 5÷10 мин.

Удельный расход воды на одну промывку контактного осветлителя, м^3/м^2:

$$q_{\text{пр}} = \frac{60Wt}{1000}, \qquad (7.37)$$

где W – интенсивность подачи воды на промывку, принята в пределах 15–18; t – продолжительность промывки, в пределах 7–8 мин.

Количество контактных осветлителей $N_{\text{ко}}$, шт.:

$$N_{\text{ко}} = \frac{\sqrt{F_{\text{ко}}}}{2}. \qquad (7.38)$$

По принятому количеству контактных осветлителей рассчитываем площадь одного контактного осветлителя f, м^2:

$$f = \frac{F_{\text{ко}}}{N_{\text{ко}}}, \qquad (7.39)$$

где $F_{\text{ко}}$ – общая площадь контактных осветлителей (расчет см. выше); $N_{\text{ко}}$ – количество контактных осветлителей (расчет см. выше).

Если площадь одного осветлителя больше 30 м^2, принимается конструкция с центральным каналом. При этом задаются размерами одной секции $b_{\text{ко}} \times L_{\text{ко}}$ (при условии, что в одном осветлителе

2 секции, совмещенных центральным каналом). Размер должен быть кратным 3. Ширину можно принять 6 м.

После принятия размера осветлителя рассчитывают фактическая рабочая площадь одного контактного осветлителя и всех осветлителей.

Проверка скоростей фильтрации. При нормальном режиме:

$$v_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{ко}} + n_{\text{пр}} q_{\text{пр}} F''_{\text{ко}}}{F''_{\text{ко}} \left(T_{\text{ст}} - \tau_{\text{пр}} n_{\text{пр}} - \frac{n_{\text{пр}} \tau_{\text{ст}}}{60} \right)}, \qquad (7.40)$$

где $Q_{\text{ко}}$ – расход воды, поступающий на контактный осветлитель, м^3/сут (расчет см. выше); $n_{\text{пр}}$ – количество промывок при нормальном режиме эксплуатации, 2 промывки; $q_{\text{пр}}$ – удельный расход воды на одну промывку, 7,68 м^3/м^2 (расчет см. выше); $F''_{\text{ко}}$ – площадь контактных осветлителей м^2 (расчет см. выше); $T_{\text{ст}}$ – продолжительность работы станции, 24 ч; $\tau_{\text{пр}}$ – время простоя фильтра в связи с промывкой, 0,33 ч; $\tau_{\text{ст}}$ – продолжительность сброса первого фильтрата при промывке очищенной водой, в пределах 10–12 мин.

При форсированном режиме:

$$v_a = v_{\text{н}} \frac{N_{\text{ко}}}{N_{\text{ко}} - 1}, \qquad (7.41)$$

где $v_{\text{н}}$ – скорость фильтрации при нормальном режиме (расчет см. выше); $N_{\text{ко}}$ – количество контактных осветлителей (расчет см. выше).

Скорость фильтрования в КО без поддерживающих слоев принята: при нормальном режиме – в пределах 4,5 м/ч–4,79 м/ч; при форсированном режиме – в пределах 5 м/ч–5,15 м/ч.

Расчет трубчатой распределительной системы

Промывной расход, м^3/с:

$$q^1_{\text{пр}} = W \cdot f, \qquad (7.42)$$

где W – интенсивность подачи воды, принята в пределах 15–18 л/(с·м^2); f – площадь одного осветлителя.

Диаметр коллектора:

$$d_к = \sqrt{\frac{4q_{пр}}{\pi v_к}}, \qquad (7.43)$$

где $v_к$ – скорость движения воды при промывке в начале коллектора, м/с. По сортаменту подбираем трубу и проверяем фактическую скорость, которая должна быть в пределах 0,8–1,2 м/с.

$$v_к = \frac{4q_{пр}}{\pi d_к}. \qquad (7.44)$$

Длина коллектора:

$$L_к = L_{ко} - b, \qquad (7.45)$$

где $L_{ко}$ – длина контактного осветлителя; b – строительный запас, принимаемый конструктивно в пределах 100–150 мм

Количество ответвлений:

$$n_{отв} = 2\frac{L_к}{a}, \qquad (7.46)$$

где a – расстояние между осями ответвлений, мм, принимаем 300–500 мм. В случае расчета осветлителя с боковым карманом удвоения количества отверстий не нужно.

При этом расход через одно ответвление составит, м^3/с:

$$q_{отв} = \frac{q_{пр}}{n_{отвт}}. \qquad (7.47)$$

Диаметр ответвления:

$$d_{отв} = \sqrt{\frac{4q_{отв}}{\pi v_{отв}}}. \qquad (7.48)$$

Скорость в начале ответвления принимаем 1,4–1,8 м/с:

По сортаменту подбираем трубу и проверяем фактическую скорость:

$$v_{отв} = \frac{4q_{отв}}{\pi d_{отв}}. \qquad (7.49)$$

Скорость удовлетворяет пределам 1,4–1,8 м/с.

Длина ответвления

$$L_{отв} = b_{ко} - b, \qquad (7.50)$$

где $b_{ко}$ – ширина контактного осветлителя, b – строительный запас, принимаемый конструктивно в пределах 100–150 мм.

Количество отверстий с одной стороны:

$$n_{\text{отверст}} = \frac{L_{\text{отв}}}{a}, \qquad (7.51)$$

где a – расстояние между осями отверстий принимаем в пределах 150–200 мм.

Суммарное число отверстий:

$$\sum n_{\text{отверст}} = \left(2n_{\text{отверст}} - 1\right) n_{\text{отв}}. \qquad (7.52)$$

На ответвлениях трубчатого дренажа следует предусматривать при наличии поддерживающих слоев отверстия диаметром $d_{\text{отверст}}$ = 10–12 мм. Общая площадь отверстий должна составлять 0,22–0,24 % рабочей площади фильтра. Отверстия надлежит располагать в два ряда в шахматном порядке под углом 30° к вертикальной оси трубы.

Площадь отверстий:

$$\sum f_{\text{отверст}} = \frac{\pi d_{\text{отверст}}^2}{4}. \qquad (7.53)$$

$f_{\text{отверст}}$ должна быть не более (0,22÷0,24 %) $F_{\text{ко}}$.

Загрузка контактного осветлителя

Высота рабочей загрузки $H_з$ не должна превышать 3 м.

Превышение строительной высоты над расчетным уровнем воды – не менее 0,5 м.

При работе фильтров с постоянной скоростью фильтрования надлежит предусматривать над нормальным уровнем воды в фильтрах дополнительную высоту $H_{\text{доп}}$, м:

$$H_{\text{доп}} = \frac{W_{\text{о}}}{\sum F_{\text{ко}}}, \qquad (7.54)$$

где $W_{\text{о}}$ – объем воды, м^3, накапливающейся за время простоя одновременно промываемых осветлителей; $\sum F_{\text{ко}}$ – общая площадь всех осветлителей за исключением тех, которые находятся на промывке, и которые находятся на ремонте $(n_{\text{пром+ рем}})$.

$$F_{\text{ко}} = F_1\left(N_{\text{ко}} - n_{\text{пром+рем}}\right). \qquad (7.55)$$

Объем воды, накапливающейся за время простоя одновременно промываемых осветлителей, м^3:

$$W_{\text{о}} = \frac{Q_{\text{ко}}}{T_{\text{ст}}(N_{\text{ко}} - n_{\text{пром}})} t_{\text{простоя}}, \qquad (7.56)$$

где $Q_{ко}$ – расход воды, поступающей на осветлители, расчет см. выше; $N_{ко}$ – количество осветлителей, расчет см. выше; $T_{ст}$ – продолжительность работы станции в течение суток; $t_{простоя}$ – время простоя префильтра в связи с промывкой, принято 0,33 часа.

Для сбора и отведения промывной воды следует предусматривать желоба полукруглого или пятиугольного сечения. Расстояние между осями соседних желобов должно быть не более 2,2 м. Кромки всех желобов должны быть на одном уровне и строго горизонтальны. Лотки желобов должны иметь уклон 0,01 к сборному каналу.

Ширина желоба $B_{жел}$ равна

$$B_{жел} = К_{жел}\sqrt[5]{\frac{q^2_{жел}}{(1{,}57 + a_{жел})^3}}, \qquad (7.57)$$

где $q_{жел}$ – расход воды по желобу, м^3/с; $a_{жел}$ – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимаемое от 1 до 1,5; $К_{жел}$ – коэффициент, принимаемый для пятиугольных желобов – 2,1, с круглым лотком – 2.

$$q_{жел} = \frac{q^1_{пр}}{N_{жел} n_{сек}}, \qquad (7.58)$$

где $N_{жел}$ – количество желобов, принимаем 3 желоба конструктивно; $n_{сек}$ – количество секций в одном осветлителе (с центральным каналом 2 секции).

Высота желоба:

$$H_{жел} = 0{,}5 B_{жел}(1 + a_{жел}). \qquad (7.59)$$

Полная высота желоба:

$$H^{полн}_{жел} = H_{жел} + 0{,}01 L_{жел}. \qquad (7.60)$$

$L_{жел}$ принимается равной ширине одной секции осветлителя.

Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до кромок желобов:

$$h_ж = \frac{H_з a_з}{100} + 0{,}3, \qquad (7.61)$$

где $H_з$ – высота фильтрующего слоя, принимаемая до 3 м; $a_з$ – относительное расширение фильтрующей загрузки в процентах, принимаем 25 %.

Высота контактного осветлителя

$$H = H_з + H_{жел}^{полн} + H_{доп} + 0{,}5. \quad (7.62)$$

Расчет подводящих и отводящих труб

В соответствии с [1] скорость движения воды в трубопроводах, подающих и отводящих промывную воду, следует принимать 1,5÷2 м/с.

Расчет ведем по формуле

$$d_{кол} = \sqrt{\frac{4q_{пр}}{\pi v_{кол}}}. \quad (7.63)$$

По сортаменту подбираем диаметр трубы. Проверяем фактическую скорость в коллекторе, должна входить в пределы 1,5–2 м/с.

Ширина сборного канала (сборного кармана):

$$B_{кан} = d_{кол}^{наруж} + 2b, \quad (7.64)$$

где b – строительный запас, принимаемый конструктивно в пределах 0,3–0,5 м; $d_{кол}^{наруж}$ – наружный диаметр принятого подводящего коллектора.

В фильтрах со сборным каналом расстояние от дна желоба до дна канала:

$$H_{кан} = 1{,}73\sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{gB_{кан}^2}} + 0{,}2, \quad (7.65)$$

где $q_{кан} = q_{пр}$ – расходы вод по каналу;

Песковое хозяйство

Объем песка, загруженного в фильтры перед пуском станции, м^3:

$$W_п = N_ф f_{ф1} H_з. \quad (7.66)$$

Общий объем складируемого фильтрующего материала принимаем в количестве 10 %, учитывающих вынос вымываемой мелкой фракции из фильтров при промывке.

Годовая потребность в дополнительном количестве песка, на досыпку, связанную с выносом мелких фракций при промывке фильтров, м^3:

$$W_{Д} = W_{П}\ 0{,}1. \qquad (7.66)$$

Для хранения фильтрующего материала предусматриваем железобетонные емкости в зале фильтров в непосредственной близости к рабочим фильтрам.

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных с указанием габаритов рассчитанных сооружений и их количества

Проверочные вопросы

1. Назначение контактных осветлителей и префильтров.
2. Принцип работы префильтра.
3. Условия применения контактных осветлителей и префильтров.
4. Особенности конструктива сооружений.
5. Скоростные режимы работы префильтров.

Практическая работа №8
Фильтровальные сооружения. Конструирование и расчет скорых фильтров. Детальный расчет фильтров

Цель работы: понять принцип работы сооружений. Получить навыки конструирования и расчета скорых фильтров.

Порядок выполнения

Скорые фильтры (СФ) – сооружения тонкой очистки воды, основным элементом здесь является фильтрующий материал.

Фильтры применяют в качестве второй ступени очистки в двухступенчатой схеме водоподготовки. В качестве фильтрующего материала используют кварцевый песок, дробленые антрацит и керамзит, а также другие материалы. Фильтры и их коммуникации рассчитывают на работу при нормальном и форсированном (часть фильтров находится в ремонте) режимах. На станциях с количе-

ством фильтров до 20 предусматривают возможность выключения на ремонт одного фильтра, при большем количестве – двух фильтров.

Расчетные скорости фильтрования при нормальном и форсированном режимах в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, технологии ее обработки перед фильтрованием и других местных условий,, принимают по [1] с учетом обеспечения продолжительности работы фильтров между промывками не менее: при нормальном режиме 8–12 ч, при форсированном режиме или полной автоматизации промывки фильтров – 6 ч.

Данные для расчета принимаются по прил. 6–7 по принятому к расчету типу фильтров.

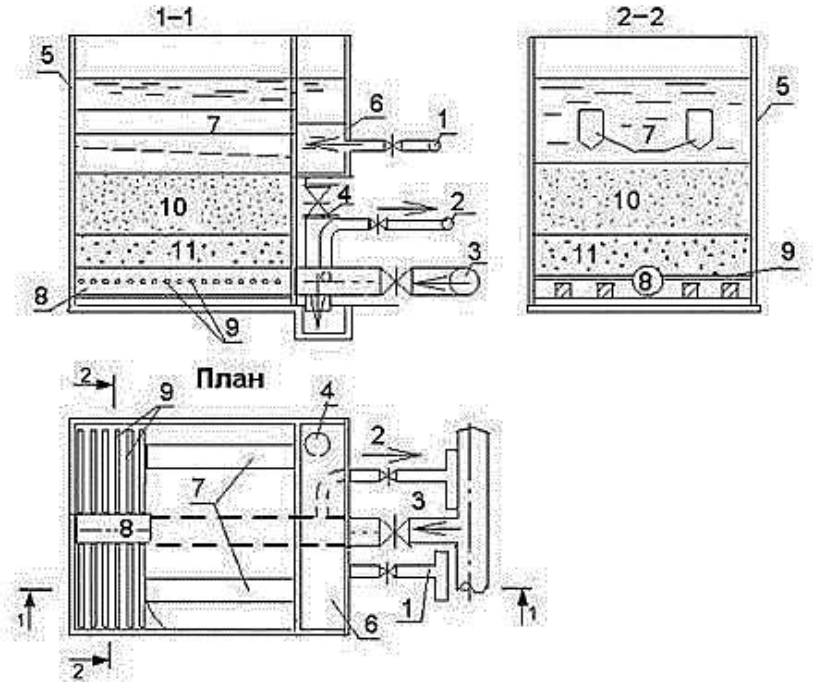

Рис. 8.1. Скорый фильтр с боковым карманом и трубчатым дренажом:

1 – подача воды на очистку; 2 – отвод фильтрованной воды; 3 – подача воды на промывку; 4 – сброс промывной воды; 5 – корпус фильтра; 6 – боковой карман; 7 – желоба; 8 – коллектор дренажа; 9 – трубы дренажа (ответвления); 10 – фильтрующая загрузка; 11 – поддерживающие слои

Для станций малой производительности принимают фильтры с боковым карманом, для станций средней и большой производительности принимают фильтры с центральным каналом.

При этом рекомендуется: работа станции очистки воды – круглосуточная; промывка фильтров – два раза в сутки.

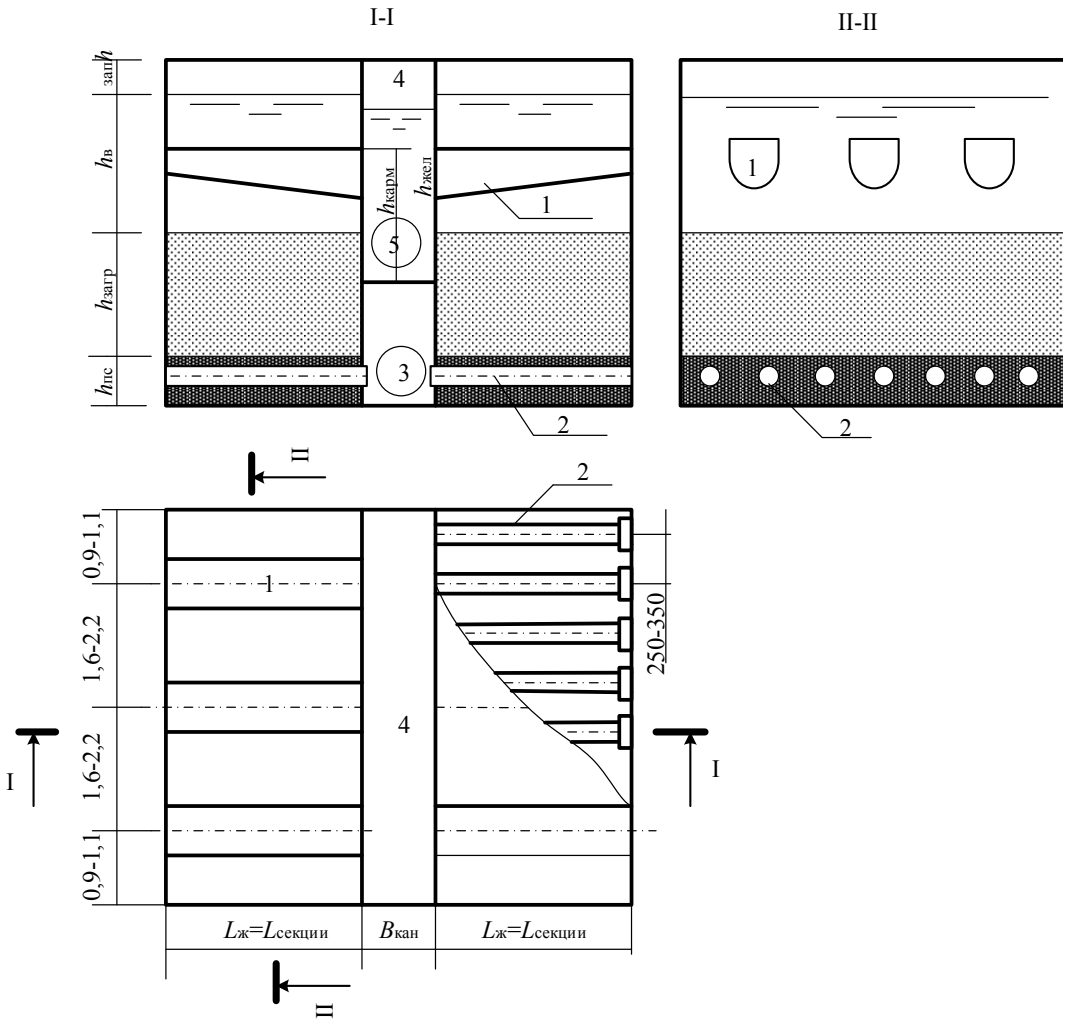

Рис. 8.2. Скорый фильтр с центральным каналом:
1 – желоба; 2 – дренажно-распределительная система 3 – отвод фильтрата (подача воды на промывку); 4 – центральный канал; 5 – подачи исходной воды (отвод промывной воды)

Порядок расчета скорых фильтров

Определение общей площади скорых фильтров:

$$F_{ф} = \frac{Q_{полн}}{T_{ст}v_{н} - 3{,}6n\omega t_1 - nt_2v_{н}}, \qquad (8.1)$$

где $F_{ф}$ – общая площадь фильтров, м^2; $T_{ст}$ – продолжительность работы станции в течение суток, 24 ч; $v_{н}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч; n – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации; ω – интенсивность промывки фильтра, л/(с·м^2); t_1 – продолжительность про-

мывки, ч, принимаемая 7 мин = 0,12 ч; t_2 – время простоя фильтра в связи с промывкой, принимаемое для фильтров, промываемых водой – 0,33 ч, промываемых водой и воздухом – 0,5 ч.

Количество фильтров:

$$N_ф = 0{,}5\sqrt{F_ф}. \qquad (8.2)$$

Количество фильтров на станциях производительностью более 1600 м^3/сут должно быть не менее четырех. При производительности станции более 8–10 тыс. м^3/сут количество фильтров следует определять с округлением до ближайших целых чисел (четных или нечетных в зависимости от компоновки фильтров). Площадь одного фильтра надлежит принимать не более 100–120 м^2.

Далее производится проверка на соблюдение скорости фильтрования при форсированном режиме.

Скорость фильтрования при форсированном режиме

$$v_ф = \frac{v_н N_ф}{N_ф - N_1}, \qquad (8.3)$$

где $v_н$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме; N_1 – число фильтров, находящихся в ремонте.

На станциях с количеством фильтров до 20 следует предусматривать возможность выключения на ремонт одного фильтра, при большем количестве – двух фильтров. Скорость фильтрования при форсированном режиме должна быть в пределах 8,5–12 м/ч.

Площадь одного фильтра, м^2:

$$F_1 = \frac{F_ф}{N_ф}. \qquad (8.4)$$

Фильтры площадью до 30 м^2, как правило, устраивают без центрального канала, при большей площади с центральном каналом.

Для принятой площади принимаем размеры фильтра. Минимальную ширину $b_ф$ принимаем 6 м, далее кратно 3. $L_{сек}$ принимаем исходя из принятой ширины фильтра и площади F_1. Общая длина фильтра с центральным каналом: $L_ф = 2L_{сек} + B_{кан}$. Для фильтров с боковым карманом $L_ф = L_{сек} + B_{кан}$.

Фактическая суммарная площадь всех фильтров, м^2:

$$F_ф = F_1 N_ф, \qquad (8.5)$$

где F_1 – принятая площадь одного фильтра, м^2; $N_ф$ – количество фильтров.

Далее производится проверка фактической скорости фильтрования при нормальном режиме, м/ч:

$$v_н = \frac{\frac{Q_{полн}}{F_ф} + 3{,}6n\omega t_1}{T_{ст} - nt_2}, \qquad (8.6)$$

где $Q_{полн}$ – полезная производительность станции, м^3/сут; $T_{ст}$ – продолжительность работы станции в течение суток, 24 ч; n – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации; t_1 – продолжительность промывки; t_2 – время простоя фильтра в связи с промывкой; ω – интенсивность промывки фильтра.

Фактическая скорость фильтрования при нормальном режиме должна быть в пределах 7–10 м/ч.

Проверка фактической скорости фильтрования при форсированном режиме, м/ч:

$$v_ф = \frac{v_н N_ф}{N_ф - N_1}. \qquad (8.7)$$

Фактическая скорость фильтрования при форсированном режиме должна быть в пределах 8,5–12 м/ч.

Для сбора фильтрата и подачи промывной воды принимать конструкцию дренажно-распределительной системы трубчатую большого сопротивления, из стальных перфорированных труб.

Промывной расход в дренажно-распределительной системе:

$$q_{пр} = \omega F_1, \qquad (8.8)$$

где ω – интенсивность промывки фильтра, 14–16 л/(с м^2); F_1 – площадь одного фильтра, м^2.

Диаметр коллектора распределительной системы, м:

$$d_к = \sqrt{\frac{4q_{пр}}{\pi v_к}}, \qquad (8.9)$$

где $q_{пр}$ – промывной расход в дренажно-распределительной системе, л/с; $v_к$ – скорость движения воды в коллекторе 0,8–1,2 м/с.

Количество ответвлений дренажной системы, шт.:

$$n_{ответвл} = \frac{2b_ф}{a}, \qquad (8.10)$$

где $b_ф$ – ширина фильтра, м (длина стороны фильтра в направлении оси распределительного коллектора); a – расстояние между осями ответвлений 0,25–0,35 м, для фильтра с центральным карманом ширина не удваивается.

Диаметр ответвлений, м:

$$d_{ответвл} = \sqrt{\frac{4q_{пр}}{\pi n_{ответвл} v_{ответвл}}}, \qquad (8.11)$$

где $q_{пр}$ – промывной расход в дренажно-распределительной системе, л/с; $v_{ответвл}$ – скорость движения воды в начале ответвления 1,6–2 м/с.

По сортаменту принимаем диаметр труб для ответвлений и проверяем фактическую скорость.

На ответвлениях трубчатого дренажа следует предусматривать: при наличии поддерживающих слоев – отверстия диаметром $d_{отверст}$ = 10÷12 мм, при их отсутствии – щели шириной на 0,1 мм меньше минимального размера зерен фильтрующей загрузки. Общая площадь отверстий должна составлять 0,25–0,5 % рабочей площади фильтра; площадь щелей – 1,5÷2 % рабочей площади фильтра. Отверстия надлежит располагать в два ряда в шахматном порядке под углом 45° к низу от вертикали. Щели должны размещаться равномерно поперек оси и по периметру трубы не менее чем в два ряда.

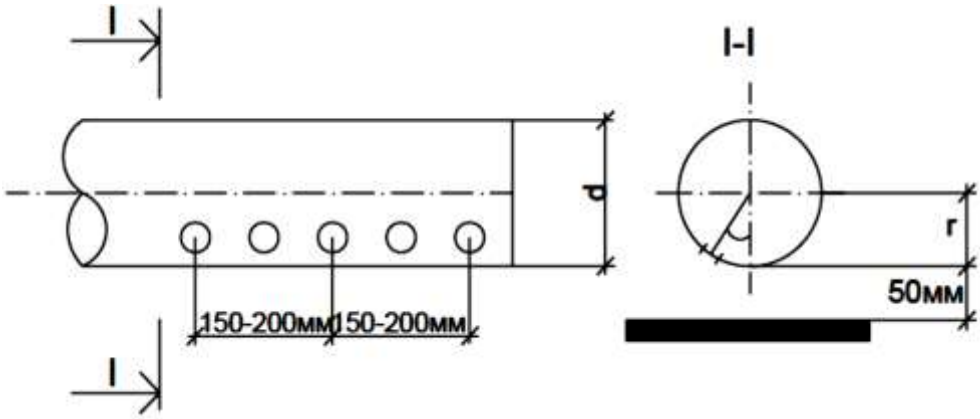

Рис. 8.3. Дренажно-распределительная система

Расстояние от низа ответвлений до дна фильтра 80÷120 мм.

Длина ответвления распределительной системы, м:

$$l_{\text{ответвл}} = L_{\text{сек}} - 0{,}2, \tag{8.12}$$

где $L_{\text{сек}}$ – длина секции фильтра, м;

Количество отверстий на одном ответвлении распределительной системы, шт.:

$$n_{\text{ответвл}} = \frac{l_{\text{ответвл}}}{0{,}15}, \tag{8.13}$$

где 0,15 –расстояние между отверстиями, м.

Коэффициент перфорации $К_п$:

$$К_п = \frac{\dfrac{\pi d^2_{\text{ответвл}}}{4}}{n_{\text{отверст}} \dfrac{\pi d^2_{\text{отверст}}}{4}}, \tag{8.14}$$

где $d_{\text{ответвл}}$ – диаметр ответвлений, мм; $d_{\text{отверст}}$ – диаметр отверстий на ответвлениях, мм; $n_{\text{отверст}}$ – количество отверстий.

Коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\xi = \frac{2{,}2}{К_п^2} + 1, \tag{8.15}$$

где $К_п$ – коэффициент перфорации.

Потери напора в дренажной системе, м:

$$h = \xi \frac{v_к^2}{2g} + \frac{v_{отв}^2}{2g}, \tag{8.16}$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления; $v_к$ – скорость движения воды в коллекторе, м/с; $v_{отв}$ – скорость движения воды в ответвлении, м/с.

Потеря напора в распределительной системе при промывке фильтра не должна превышать 7 м вод. ст.

Для сбора и отведения промывной воды следует предусматривать желоба полукруглого или пятиугольного сечения. Расстояние между осями соседних желобов должно быть не более 2,2 м.

Ширину желоба, м, надлежит определять по формуле

$$B_{\text{жел}} = К_{\text{жел}} \sqrt[5]{\frac{q^2_{\text{жел}}}{(1{,}57 + a_{\text{жел}})^3}}, \tag{8.17}$$

где $q_{жел}$ – расход воды по желобу, м^3/с; $К_{жел}$ – коэффициент, принимаемый равным: для желобов с полукруглым лотком – 2, для пятиугольных желобов – 2,1; $a_{жел}$ – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимаемое от 1 до 1,5.

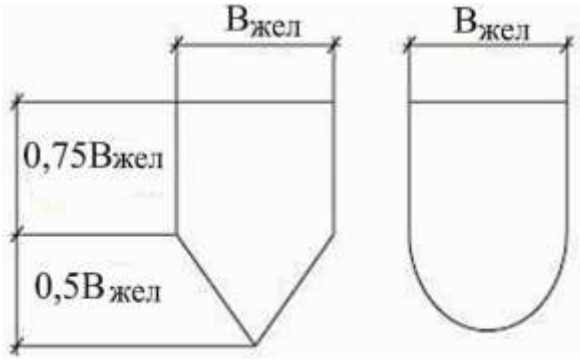

Рис. 8.4. Желоба для бора воды

Кромки всех желобов должны быть на одном уровне и строго горизонтальны. Лотки желобов должны иметь уклон 0,01 к сборному каналу.

Полная высота желоба, м:

$$H_{жел} = 0{,}5B_{жел}(1 + a_{жел}), \tag{8.18}$$

где $B_{жел}$ – ширина желоба, м; $a_{жел}$ – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины.

Расстояние от дна желоба до дна кармана, м:

$$H_{ка\,рм} = 1{,}73\sqrt[3]{\frac{q_{пр}^2}{gB_{кан}^2}} + 0{,}2, \tag{8.19}$$

где $q_{пр}$ – промывной расход по каналу, м/с (см. выше); g – ускорение свободного падения, 9,81 м^2/с; $B_{кан}$ – ширина канала (кармана), принимаемая не менее 0,7 м).

$$B_{кан} = d_ф + 2a, \tag{8.20}$$

где $d_ф$ – линия подачи воды на фильтр, м; a – значение заделки, 0,2 м.

$$d_ф = \sqrt{\frac{4q_ф}{\pi v_ф}}, \tag{8.21}$$

где $q_ф$ – расчетный расход воды, поступающий на один фильтр, м^3/с; $v_ф$ – скорость движения воды по трубопроводу, 1,5–2 м/с.

$$q_ф = v_н f_ф, \tag{8.22}$$

где $v_н$ – скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч; $f_ф$ – площадь одного фильтра, м^2.

Диаметр общей подающей линии считается аналогично с учетом $q_{исх} = q_ф \cdot N_ф$.

Крупность фракций и высоту поддерживающих слоев при распределительных системах большого сопротивления следует принимать по табл. 7.1.

Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до верхней кромки желобов, м:

$$h_ж = \frac{H_з a_з}{100} + 0{,}3, \tag{8.22}$$

где $H_з$ – высота фильтрующей загрузки, м; $a_з$ – относительное расширение фильтрующей загрузки 50 %.

Диаметр трубопровода для отвода чистой воды, м:

$$d_{рчв} = \sqrt{\frac{4q_{рчв}}{\pi v_{рчв}}}, \tag{8.23}$$

где $q_{рчв}$ – расчетный расход воды, поступающий с одного фильтра, м^3/с; $v_{рчв}$ – скорость движения воды по трубопроводу 0,8–1,5 м/с.

$$q_{рчв} = v_ф f_ф, \tag{8.24}$$

где $v_ф$ – скорость фильтрования при форсированном режиме, $f_ф$ – площадь одного фильтра, м^2.

Полная высота скорого фильтра, м:

$$H_ф = H_{пс} + H_з + H_в + H_{доп} + h_с, \tag{8.25}$$

где $H_{пс}$ – общая высота поддерживающих слоев, м; $H_з$ – высота фильтрующей загрузки, м; $H_в$ – высота слоя воды над фильтрующей загрузкой, 2 м; $h_с$ – превышение строительной высоты над расчетным уровнем воды, 0,5 м.

При выключении части фильтров на промывку и при работе оставшихся фильтров с постоянной скоростью фильтрования,

предусматривают над нормальным уровнем воды в фильтрах дополнительную высоту, которую определяют по формуле

$$H_{доп} = \frac{W_о}{\sum F_ф}, \qquad (8.26)$$

где $H_{доп}$ – дополнительная высота, м; $W_о$ – объем воды, м, накапливающийся за время простоя одновременно промываемых фильтров; $\sum F_ф$ – суммарная площадь фильтров, м^2, в которых происходит накопление воды.

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных с указанием габаритов рассчитанных сооружений и их количества

Проверочные вопросы

1. Назначение скорых фильтров.
2. Типы скорых фильтров. Обоснование выбора конкретного типа.
3. Используемые фильтрующие материалы. Принцип выбора.
4. Способы промывки фильтров.
5. Скоростные режимы работы сооружений.

Практическая работа №9
Расчет сооружений для обеззараживания воды

Цель работы: понять методы обеззараживания воды. Получить навыки сооружений по обеззараживанию воды.

Порядок выполнения

В технологии водоподготовки известно много методов обеззараживания, которые можно классифицировать на четыре основные группы:

– термический;

– с помощью сильных окислителей (гипохлорит натрия, озон);

– олигодиками (воздействие ионов благородных металлов на микробиологические объекты);

– физический (с помощью ультразвука, радиоактивного излучения, ультрафиолетовых лучей).

Из перечисленных наиболее широко применяют методы второй группы. В качестве окислителей используют хлор, диоксид хлора, озон и т.д.

В свою очередь, из перечисленных окислителей, на практике отдают предпочтение гипохлориту натрия и озону (при подготовке бутилированной воды). Выбор метода обеззараживания воды производят, руководствуясь расходом и качеством обрабатываемой воды, эффективностью ее предварительной очистки, условиями поставки, транспорта и хранения реагентов.

Гипохлорит натрия на водопроводных сооружениях используют как для первичного хлорирования с целью улучшения хода коагуляции, обесцвечивания воды и улучшения санитарного состояния сооружений, так и для вторичного обеззараживания воды.

Дозу хлорсодержащих реагентов (по активному хлору) для предварительного хлорирования принимают 3–10 мг/л. Реагенты вводят в воду за 1–3 мин до ввода коагулянта.

Дозу активного хлора для обеззараживания воды устанавливают на основании технологических изысканий. При их отсутствии для предварительных расчетов принимают: для поверхностных вод после фильтрования 2–3 мг/л, для вод подземных источников 0,7–1 мг/л.

В настоящее время для исключения на станции опасного производства применяют методы автономного поучения гипохлорита натрия из поваренной соли.

В качестве дезинфицирующего реагента чаще всего применяют *готовый 20 % раствор гипохлорита натрия*, поставляемый с завода-изготовителя автоцистернами. При этом гипохлоритная станция оснащается: химически стойким баком для приема товарного 20 % раствора гипохлорта натрия (объем бака принимается 6 м^3 с учетом объема емкости автоцистерны); химически стойкими насосами для перекачивания дезинфектанта из приемного бака в баки-хранилища (рассчитанные на 10-суточное хранение реагента); группами насосов-дозаторов для подачи товарного гипохлорита натрия на первичное и вторичное хлорирование. Для дозирования принимаются насосы-дозаторы марки DDI 222 фирмы «Grundfos

ALLDOS». Для перекачивания товарного гипохлорита натрия в баки-хранилища применяются насосы марки DMI 208 фирмы «Grundfos ALLDOS».

20%-й (200 г/л) раствор гипохлорита натрия имеет плотность 1,25 кг/м^3. Расчет суточного расхода ведется аналогично расходу гипохлорита, получаемого автономным способом. По полученному суточному расходу определяется объем 10-суточного запаса и необходимое количество баков-хранилищ, в качестве которых принимаются полиэтиленовые химически стойкие баки.

В случае отсутствия возможности доставки товарного гипохлорита натрия предусматривают *автономное получение гипохлорита натрия из поваренной соли* путем электролиза непосредственно на станции водоподготовки.

В качестве электролита для получения гипохлорита натрия используется раствор поваренной соли.

Сущность электролизного процесса получения гипохлорита натрия заключается в следующем:

На аноде идет разряд ионов хлора (процесс окисления):

$$2Cl^- = Cl_2 + 2e^-.$$

Выделяющийся хлор растворяется в электролите (NaCl) с образованием хлорноватистой и соляной кислот:

$$Cl_2 + H_2O = HClO + HCl.$$

На катоде происходит разряд молекул воды (процесс восстановления):

$$H_2O + e^- = OH^- + H^+.$$

Атомы водорода после рекомбинации выделяются из раствора в виде газа, оставшиеся же в растворе ионы OH^- образуют возле катода с ионами Na^+ щелочь.

Вследствие перемешивания анолита с католитом происходит взаимодействие хлорноватистой кислоты со щелочью с образованием гипохлорита натрия:

$$HClO + NaOH = \underline{NaClO} + H_2O.$$

Комплекс приготовления гипохлорита натрия состоит из отдельных технологических блоков и включает в себя:

– реагентное хозяйство для приготовления насыщенного раствора соли (солерастворитель, растариватель, склад сухого хранения соли);

– узел кислотной декарбонизации воды с отдувкой свободной углекислоты (барботажный или пленочный дегазатор);

– насосы перекачки декарбонизированного рабочего (3 %) раствора соли на электролизеры;

– электролизеры для получения гипохлорита натрия;

– систему электроснабжения (блоки питания) электролизеров

– шкафы управления электролизерами и другим оборудованием;

– узел кислотной промывки электродной системы электролизеров;

– емкости хранения готового продукта (гипохлорита натрия);

–автоматические станции дозирования;

– систему отдувки, разбавления и выброса в атмосферу образующегося при электролизе водорода;

–систему учета расхода воды, электроэнергии, поваренной соли, произведенного гипохлорита натрия, а также концентрации солевого раствора и выбрасываемого водорода с приборами контроля указанных параметров;

– систему автоматизированного управления технологическим процессом.

Основное назначение технологических блоков

Солерастворитель предназначен для получения и хранения насыщенного раствора поваренной соли. Приготовленный рассол дозировочным насосом подается в трубопровод декарбонизированной воды, где разбавляется до рабочей концентрации и поступает в электролизер.

Декарбонизатор предназначен для удаления из воды карбонатов с целью сокращения образования отложений солей жесткости на электродах электролизера.

Электролизер проточного или циркуляционного типа, выполненный из материала, стойкого к агрессивным средам, с установленными в нем титановыми катодами и анодами с нанесенным покрытием из оксида рутения. Электролиз осуществляется в автоматическом или ручном режиме и контролируется панелью управления.

Основные эксплуатационные характеристики электролизеров:

− расход соли 2,0–3,6 кг на 1 кг вырабатываемого эквивалентного хлора;

− расход электроэнергии 4,2–4,3 кВт·ч/кг эквивалентного хлора.

Блок питания обеспечивает подачу постоянного тока на электродную систему электролизера.

АСУ ТП обеспечивает работу электролизной установки полностью в автоматическом режиме, а также управляет технологическим процессом кислотной декарбонизации.

Резервуары для хранения гипохлорита натрия предназначены для приема готового продукта в течение не менее 4-х ч работы электролизеров.

Получение гипохлорита натрия сопровождается выделением водорода. В целях обеспечения взрывопожаробезопасной работы установки предусмотрено устройство газовых сепараторов после каждого электролизера, в которых происходит отделение электролизных газов от раствора и их удаление по газоотводящим трубопроводам за пределы помещения в атмосферу.

Расчет установок для обеззараживания воды гипохлоритом натрия

Для обеззараживания воды предусматриваем устройство гипохлоритной станции, включающей в себя емкости с солевым раствором, модульные установки «Аквахлор», емкости хранения 10 % гипохлорита натрия и насосы-дозаторы для ввода реагента в поток обрабатываемой воды.

В качестве дезинфицирующего реагента принимаем гипохлорит Na автономного получения. Общая доза обеззараживания воды принимается Д = 3 мг/л = 3 г/м^3. Доза первичного хлорирования равна 1 г/м^3 (1/3 от общей дозы обеззараживания воды), вторичного – 2 г/м^3 (2/3 от общей дозы обеззараживания воды).

При наличии в технологии сооружений повторного использования промывной воды, предусматривают расход гипохлорита натрия для обработки промывных вод – 5 г/м^3.

Концентрация остаточного хлора является показателем достаточности принятой дозы хлора. При обеззараживании воды концентрация остаточного свободного хлора должна быть в пределах 0,3–0,5 мг/л на 1 л.

Суммарный расход хлора на окисление микроорганизмов, органических и минеральных примесей определяет величину хлоропоглощаемости.

Расход рабочего раствора гипохлорита Na составляет, м^3/сут:

$$q = \frac{Q_{\text{сут+пр}} \cdot \text{Д}}{C1000}, \qquad (9.1)$$

где $Q_{\text{сут+пр}}$ – расчетный расход воды с учетом промывных вод, м^3/сут; Д – доза хлора, г/м^3; C – концентрация гипохлорита натрия 10 % (100 г/л = 100 кг/м^3); ρ – плотность 10 %-го раствора гипохлорита натрия, ρ = 1,068 кг/м^3.

Весовой суточный расход гипохлорита натрия составит, кг/сут:

$$P = q \cdot \rho. \qquad (9.2)$$

Для приготовления рабочего раствора гипохлорита натрия применяем электролизную установку типа «Аквахлор-500М» с производительностью $q_{\text{уст}}$ = 0,5 кг/ч = 12 кг/сут.

Требуемое количество установок составит $N = P/q_{\text{уст}}$, шт.

Принимаем необходимое количество рабочих и резервных установок. Размер одной установки: высота 1,8 м; ширина 0,6 м; длина 0,6 м.

Таблица 9.1

Технические характеристики электролизных установок

Модель	Производительность по хлору, г/ч	Потребляемая мощность, Вт	Расход соли NaCl, г
АКВАХЛОР-50	50	280	100
АКВАХЛОР-100	100	550	250
АКВАХЛОР-250	250	1100	500
АКВАХЛОР-500	500	2300	1000
АКВАХЛОР-1000	1000	4500	2000

Концентрация водного раствора хлорида натрия, г/л	200–250
Расход хлорида натрия, кг/кг, в пересчете на молекулярный хлор	1,8–1,9
Габаритные размеры, мм	1800×600×600
Вес, кг	10–90

Установки «Аквахлор-500М» позволяет получать 10 % раствор гипохлорита натрия. Для хранения суточного расхода гипохлорита натрия предусматриваем полиэтиленовые химически стойкие баки

фирмы ООО «Анион» (см. сайт Химические емкости, IBC контейнеры – купить в АНИОН (anion–msk.ru)), или иного производителя аналогичных баков.

Подачу гипохлорита натрия предусматриваем химически стойкими насосами-дозаторомы. На первичное и вторичное хлорирование предусматриваем по 2 насоса (1 рабочий, 1 резервный) на каждую подающую линию воды.

Для дозирования принимаем насосы марки DDI 222 фирмы «Grundfos».

Рис. 9.1. Электролизная установка Аквахлор

Расход поваренной соли (NaCl) на приготовление 1 кг гипохлорита Na принимаем 3 кг. Следовательно, суточный расход соли составит, кг/сут:

$$P_c = P \cdot 3. \tag{9.3}$$

Трехмесячный запас соли должен составлять, т:

$$З = \frac{P_c \cdot 30 \cdot 3}{1000}. \tag{9.4}$$

Концентрация соли в исходном растворе 25 % (C = 250 г/л = = 0,25 кг/м^3). Плотность 25 % раствора соли ρ_c = 1,188 кг/м^3.

Необходимый суточный объем раствора соли составит, м^3/сут:

$$W = \frac{P_c}{C}. \tag{9.5}$$

Для приготовления солевого раствор принимаем 2 рабочих и 1 резервный полиэтиленовый бак фирмы ООО «Анион», или иного производителя аналогичных баков.

Подача солевого раствора на электролизные установки предусматривается химически стойкими насосами.

Соль поставляется в мешках по 50 кг. Предусматриваем 3-месячный запас соли, тогда склад хранения соли рассчитываем на хранение n = 3/50 мешков.

Соль обладает рядом свойств, которые должны учитываться при ее транспортировке и хранении. Основные из них:

– гигроскопичность – способность к поглощению водяных паров (сорбция) из окружающего воздуха;

– способность к усадке (при перевозке насыпью до 5 %);

– способность к слеживанию.

Для обеспечения сохранности соль хранится в мешках на деревянных подтоварниках, расположенных на расстоянии не менее 20 см от стен помещения для хранения. При этом допускается формирование штабеля высотой не больше 1 м. При хранении мешки в штабелях необходимо периодически перекладывать.

Принимаем штабель по 20 мешков. При этом количество штабелей составит: n/20 шт. При размере штабеля 1,0×1,0 м и расстоянии между штабелями 0,5 м рассчитываем требуемую площадь склада. Для хранения соли предусматриваем сухое складское помещение непосредственно в гипохлоритной станции

С учетом габаритных размеров баков хранения солевого раствора и гипохлорита натрия, количества электролизных установок и складского помещения принимаем размеры гипохлоритной станции.

Расчет установок для обеззараживания воды бактерицидным излучением

Для повышения барьерной функции в отношении обеспечения качества питьевой воды в санитарно-бактериологическом отношении обычно предусматривается двухступенчатое обеззараживание питьевой воды. После ступени реагентного обеззараживания гипохлоритом натрия предусматривается ступень УФ-облучения.

Уф-облучение обеспечивается путем пропуска питьевой воды через бактерицидные установки проточного типа. Марка установки принимается в зависимости от производительности станции. Бактерицидные установки устанавливаются на напорные водоводы, подающие воду потребителям. Их размещают непосредственно в НС-2 или отдельно стоящей станции УФ-облучения.

Расчетный бактерицидный поток определяем по формуле

$$F_б = \frac{Q_{час} \cdot \alpha k \lg(P/P_о)}{1563{,}4\eta_п\eta_о}, \qquad (9.6)$$

где $Q_{час}$ – расчетный расход обеззараживаемой воды, м^3/ч; α – коэффициент поглощения облучаемой воды, см$^{-1}$, принимаем для обработки поверхностных вод источников водоснабжения 0,3 см$^{-1}$; k – коэффициент сопротивляемости облучаемых бактерий, принимаем равным 2500 мкВт·с/см^2; $P_о$ – количество бактерий в 1 л воды, или коли-индекс воды, до облучения; максимальное расчетное бактериальное загрязнение исходной воды принимается равным коли-индексу P_0 = 1000 (т. е. коли-титр составляет 1); P – количество бактерий в 1 л воды после облучения, или коли-индекс облученной воды, принимаем ≤ 3; $\eta_п$ – коэффициент использования бактерицидного потока, (принимаем равным: для установок с проточным источником излучения 0,9); $\eta_о$ – коэффициент использования бактерицидного излучения, зависящий от толщины слоя воды, ее физико-химических показателей и конструктивного типа установки, принимаем равным 0,9.

Необходимое количество ламп составит

$$n = F_б : F_л, \qquad (9.7)$$

где $F_л$ – расчетный бактерицидный поток лампы, Вт, после 4500–5000 ч горения.

Величину $F_л$ принимаем в соответствии с характеристикой амальгамных ламп [2], для РКС-2,5 составит 75 Вт.

По полученным характеристикам принимаем бактерицидные установки проточного тип (рабочие и резервные):

– корпусные УФ системы НПО «ЛИТ» группы УДВ Pro с мощными амальгамными лампами (500–900 Вт) с поперечным обтеканием единичной производительностью от 500 до 10000 м^3/ч.

– установки проточного типа СЕРИИ МАСТЕР (НПО ЛИТ) МАРКИ DUV-6A500-NE MST каждая из которых состоит 5 ламп. Пропускной способностью до 500 м^3/ч.

Установки УФ-обеззараживания устанавливаем после НС-II на напорных линиях подачи питьевой воды потребителю. Размещение установок предусматриваем в здании совмещенной с НС-II.

Расход электроэнергии S на обеззараживание воды вычисляется по формуле

$$S = \frac{N \cdot n}{Q_{\text{час}}}, \text{ Вт·ч/м}^3 \qquad (9.8)$$

Для ламп РКС-2,5 N = 2500 Вт.

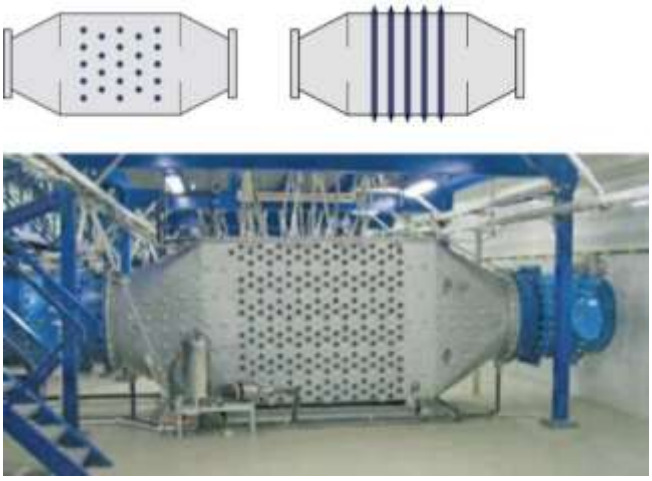

Рис. 9.2. Корпусные УФ-системы НПО «ЛИТ»
группы УДВ Pro

Рис. 9.3. Установки проточного типа
серии МАСТЕР (НПО «ЛИТ») марки DUV-6A500-NE MST

Таблица 9.2

Установки для станций малой и средней производительности

УФ-системы LENA	MST	ADV	BSC
Производительность, $м^3$/ч	до 420 $м^3$/ч	до 70 $м^3$/ч	до 20 $м^3$/ч
УФ-датчик	да	да	нет
Система очистки	Система химической промывки; опционально – система механической очистки	опционально	нет
Возможность подключения к АСУТП	да	нет	нет

Установки VOLTA (УДВ Pro) для крупных УФ-станций НПО «ЛИТ» предлагает корпусные УФ-системы с поперечным обтеканием водой УФ-ламп единичной производительностью от 500 до 10 000 $м^3$/ч. Установки типа VOLTA с мощными амальгамными лампами (500–1000 Вт) см. официальный сайт УФ ультрафиолетовые системы для обеззараживания воды, бактерицидная установка уф обеззараживания воды (lit–uv.ru).

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных с указанием габаритов рассчитанных сооружений и их количества.

Проверочные вопросы

1. Способы обеззараживания воды. Используемые дезинфектанты.
2. Дозы первичного и вторичного хлорирования, их назначение.
3. Химизм процесса при обеззараживании воды гипохлоритом натрия.
4. Принцип получения гипохлорита натрия электролизным способом.
5. Способ обеззараживания воды УФ-облучением. Применяемое оборудование. Назначение ступени УФО.

Практическая работа №10
Компоновка станции водоподготовки.
Схема движения воды по сооружениям

Цель работы: понять методы построения движения воды по сооружениям, способ компоновки станции с рациональным использованием площадей.

Порядок выполнения

Рекомендации по компоновке станции водоподготовки

Компоновку основных зданий и сооружений производят согласно предварительно принятому генплану станции водоподготовки. После принятия основных размеров сооружений в плане приступают к их размещению внутри зданий, придерживаясь четкого выделения следующих групп помещений: зал осветлителей и фильтров (горизонтальные отстойники располагают вне здания); реагентное хозяйство (склады реагентов, растворные и расходные баки, насосы-дозаторы, воздуходувки и т. д.); вспомогательные помещения (лаборатории, диспетчерские, гардеробные, душевые и т. д.). Состав и площади вспомогательных помещений принимают по [1]. После компоновки здания фильтров с учетом габаритных размеров принятых сооружений план здания вычерчивают на листе формата А1 с нанесением размерных линий по сооружениям и осям здания и технологических коммуникаций обвязки сооружений. Помимо плана зала фильтров на листе располагается экспликация сооружений.

Вертикальные отстойники или осветлители со взвешенным осадком располагают в одном здании с фильтрами. Контактные осветлители или фильтры (при предварительном осветлении воды в горизонтальных отстойниках) компонуют в два ряда с устройством между сооружениями технологических коридоров для прокладки коммуникаций.

Реагентное хозяйство размещают в здании, сблокированном с другими производственными помещениями или в отдельно стоящем здании. Вспомогательные помещения обычно блокируют с основными зданиями станции.

Пролеты зданий принимают в зависимости от размеров размещенных в них сооружений и оборудования и округляют до унифицированных размеров (6, 9, 12, 16, 24 и 30 м). Шаг несущих конструкций (балок, ферм) при подвесном подъемно-транспортном оборудовании принимают равным 6 м. Высоту этажей принимают кратной 3 м.

Генплан станции водоподготовки компонуют после определения размеров зданий и сооружений. Граница первого пояса зоны санитарное охраны должна совпадать с ограблением площади очистных сооружений и находиться на расстоянии от стен резервуаров фильтрованной (питьевой воды), фильтров (кроме напорных), контактных осветлителей с открытой поверхностью воды – не менее 30 м; от стен остальных сооружений – не менее 15 м.

Генплан вычерчивается на листе формата А1. Помимо генплана на листе располагается схема движения воды по сооружениям, экспликация зданий и сооружений, находящихся на площадке станции водоподготовки и спецификация основных технологических коммуникаций.

Обработка производственных сточных вод и осадков на станции водоподготовки

Для снижения расхода воды на собственные нужды на водоподготовительных станциях предусматривают технологию повторного использования промывных вод с отстаиванием отработанной промывной воды, последующим фильтрованием и накоплением в резервуаре усреднителя, после очистки и обеззараживания вода либо равномерно перекачивается в трубопровод перед смесителями или в смеситель, или подается на промывку фильтров. При необходимости комплекс сооружений повторного использования рассчитывается дополнительно по аналогии с вышеприведенными сооружениями.

Вспомогательные помещения

Станция водоподготовки должна иметь помещения химической и бактериологической лабораторий, мастерских, комнаты для обслуживающего персонала и др. Состав и площади

вспомогательных помещений рекомендуется принимать в соответствии с [1].

Рекомендации по построению схемы движения воды по сооружениям

Высотную схему составляют для принятых и рассчитанных сооружений для водоподготовки. На схеме указывают отметки уровней воды, в основных сооружениях и баках для приготовления растворов, а также отметки основного оборудования (насосов станции II подъема, насосов для подачи промывной воды, насосов-дозаторов, воздуходувок и т. д.).

Составление высотной схемы начинают с резервуара чистой воды, задаваясь отметкой уровня воды в нем на 0,5 м выше отметки земли в месте его расположения. Путем последовательного прибавления к отметке уровня воды в РЧВ потерь напора в коммуникациях и сооружениях получают отметки воды в каждом сооружении.

Величины перепадов уровней воды в сооружениях и соединительных коммутациях определяют расчетом. Для предварительного высотного расположения сооружений потери напора допускается принимать по табл. 10.1.

Таблица 10.1

Потери напора в сооружениях и коммуникациях

	Потери, м
В сооружениях:	
– на сетчатых барабанных фильтрах (барабанных сетках и микрофильтрах)	0,4–0,6
– во входных (контактных) камерах	0,3–0,5
– в устройствах ввода реагентов	0,1–0,3
– в гидравлических смесителях	0,5–0,6
– в механических смесителях	0,1–0,2
– в гидравлических камерах хлопьеобразования	0,4–0,5
– в механических камерах хлопьеобразования	0,1–0,2
– в отстойниках	0,7–0,8
– в осветлителях со взвешенным осадком	0,7–0,8
– на скорых фильтрах	3–3,5
– в контактных осветлителях и префильтрах	2–2,5

	Потери, м
В соединительных коммуникациях:	
– от сетчатых барабанных фильтров или входных камер к смесителям	0,2
– от смесителей к отстойникам, осветлителям со взвешенным осадком и контактным осветлителям	0,3–0,4
– от отстойников, осветлителей со взвешенным осадком или префильтров к фильтрам	0,5–0,6
– от фильтров или контактных осветлителей к резервуарам чистой воды	0,5–1

Схему движения воды по сооружениям представить в виде графического рисунка с указанием высотных отметок, обеспечивающих самотечное движение воды по сооружениям.

Форма отчета

Полученные результаты представить в виде расчетных данных и графических листов формата А1.

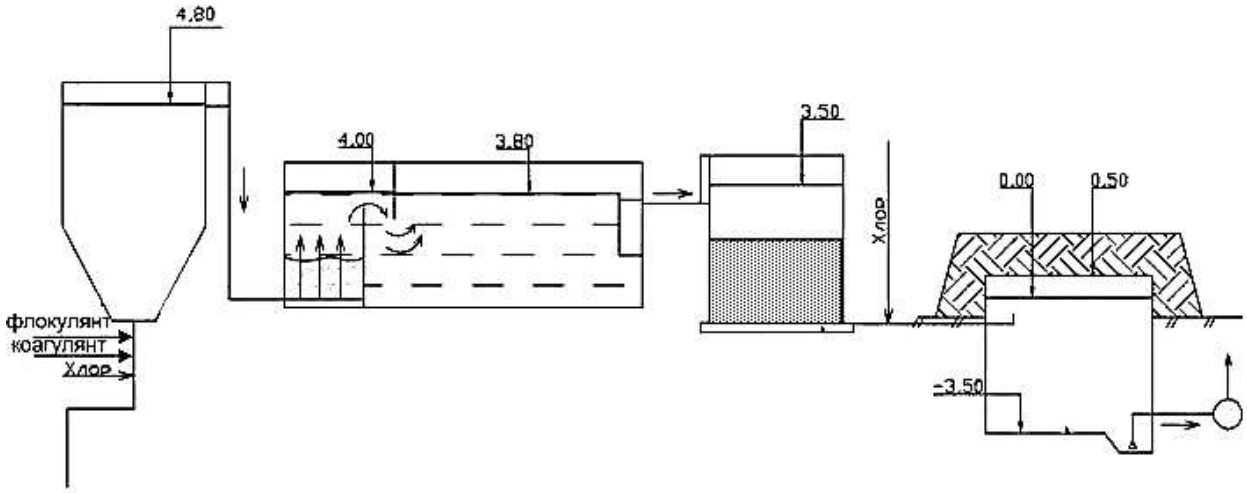

Рис. 10.1. Схемы движения воды по сооружениям

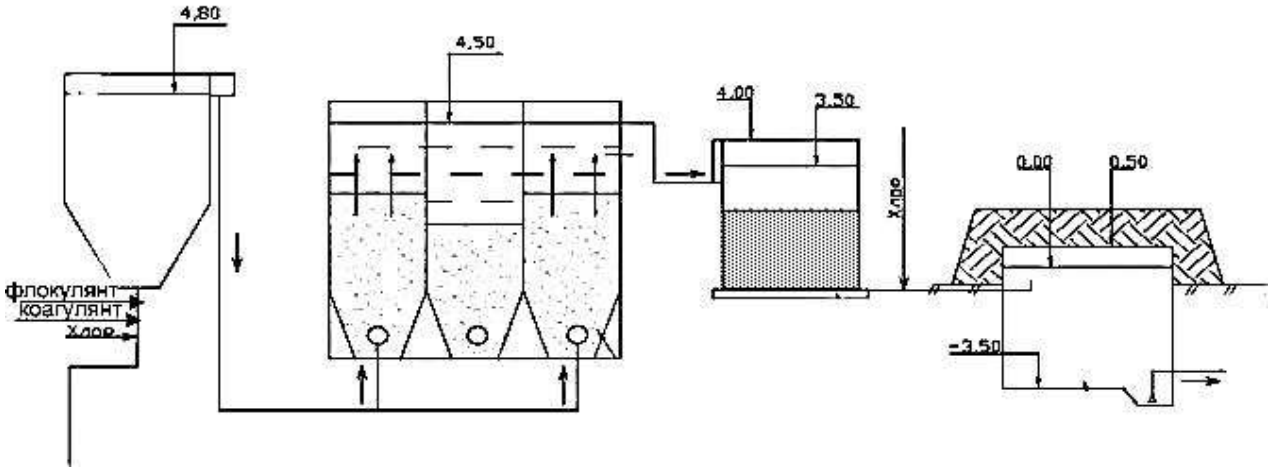

Рис. 10.2. Схемы движения воды по сооружениям

Проверочные вопросы

1. Принцип компоновки площадки ВОС.
2. Основные и вспомогательные здания и сооружения на площадке ВОС.
3. Принцип построения схемы движения воды по сооружениям.
4. Способ обработки промывных вод.
5. Зоны санитарной охраны площадки ВОС.

Формы и сроки текущего контроля

Критерии оценивания

– в отчете по выполненным лабораторным работам содержатся все требуемые элементы, которые соответствуют выданному заданию. 65...100 баллов;

– в отчете содержатся все требуемые элементы, однако они не соответствуют выданному заданию, или представлены не все требуемые элементы или отчет не представлен – 0...64 баллов.

Количество баллов	0...64	65...100
Шкала оценивания	Не зачтено	Зачтено

Срок сдачи

В конце занятия по выполнению лабораторной работы.

Последний срок сдачи каждой работы – до даты проставления контрольных точек.

Приложение 1

Исходные данные по вариантам

Показатели	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Населенный пункт	Томск	Кемерово	Москва	Барнаул	Курск	Владимир	Бийск
2. Производительность станции, $м^3$/сут	28000	48000	46000	4100	18000	42000	22000
3. Мутность исходной воды, мг/л	4000	500	80	300	60	18	16
4. Цветность исходной воды, град	65	90	55	60	75	45	40
5. Жесткость общая, мг-экв/л	1,6	2,0	2,0	1,6	2,2	2,4	2,1
6. Жесткость карбонатная, мг-экв/л	1,5	2,0	1,2	1,0	1,8	1,6	1,4
7. Общее микробное число	более 50						
8. Отметка поверхности земли площадки водоподготовительной станции, м	149	153	192	177	161	168	132

Показатели	Варианты						
	8	9	10	11	12	13	14
1. Населенный пункт	Омск	Белово	Иркутск	Братск	Астрахань	Асино	Волгоград
2. Производительность станции, $м^3$/сут	28000	67000	19000	70000	38000	2400	2200
3. Мутность исходной воды, мг/л	100	900	18	100	600	350	650
4. Цветность исходной воды, град	40	50	35	45	70	75	80
5. Жесткость общая, мг-экв/л	1,8	1,9	2,3	1,9	1,8	1,7	1,6
6. Жесткость карбонатная, мг-экв/л	1,2	1,3	1,0	1,3	0,9	1,3	0,8
7. Общее микробное число	более 50						
8. Отметка поверхности земли площадки водоподготовительной станции, м	158	197	124	197	132	144	126

Приложение 2

Данные для выбора состава сооружений

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, $м^3$/сут
	Мутность, мг/л		Цветность, град		
	исходная вода	очищенная вода	исходная вода	очищенная вода	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов					
1. Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование): а) напорные	до 30	до 1,5	до 50	до 20	до 5000
б) открытые	до 20	до 1,5	до 50	до 20	до 50000
2. Вертикальные отстойники – скорые фильтры	до 1500	до 1,5	до 120	до 20	до 5000
3. Горизонтальные отстойники – скорые фильтры	до 1500	до 1,5	до 120	до 20	св. 30000
4. Контактные префильтры – скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование)	до 300	до 1,5	до 120	до 20	любая
5. Осветлители со взвешенным осадком – скорые фильтры	не менее 50 до 1500	до 1,5	до 120	до 20	св. 5000
6. Две ступени отстойников – скорые фильтры	Более 1500	до 1,5	до 120	до 20	Любая
7. Контактные осветлители	до 120	до 1,5	до 120	до 20	–//–
8. Горизонтальные отстойники и осветлители со взвешенным осадком	до 1500	8–15	до 120	до 40	–//–
9. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	до 80	до 10	до 120	до 30	–//–
10. Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	св. 1500	до 250	до 120	до 20	–//–
Обработка воды без применения коагулянтов и флокулянтов					
12. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	до 150	30–50 % исходной	до 120	такая же, как исходная	любая
13. Радиальные отстойники для частичного осветления воды	более 1500	30–50 % исходной	до 120	то же	–//–

Приложение 3

Насосы для перекачки раствора коагулянта

Марка насоса	Производительность, $м^3/ч$	Напор, м	Габаритные размеры, мм			Мощность электродвигателя, кВт
			длина	ширина	высота	
1,5Х-6Д-1-41	6...14	20...14	930	450	375	2,8
2Х-9Д-1-41	11...22	25…17	965	450	375	4,5
3Х-9Д-1-41	29…54	35...27	1310	500	470	14

Приложение 4

Воздуходувки

Марка воздуходувки	Производительность, $м^3/мин$	Габаритные размеры, мм			Мощность электродвигателя, кВт
		длина	ширина	высота	
ВК-1,5	1,4	660	527	850	4
ВК-3	3,4	1225	562	990	7,5
ВК-6	5,7	1500	580	1370	18,5
ВК-12	10,4	1840	780	1750	22

Приложение 5

Насосы-дозаторы поплавкового типа

Марка дозатора	Раствор	Расход раствора, $м^3/ч$	Диаметр приемной трубы дозатора, мм	Масса, кг
ПДк-40 ПДк-60 ПДк-70	Кислый	0,9 2,2 2,5	40 60 70	3,68 4,08 5,66
ПДЩ-32 ПДщ-50 ПДщ-70	Нейтральный или щелочной	0,9 2,2 2,5	32 0 70	4,27 5,28 7,36

Насосы-дозаторы

Марка насоса-дозатора	Производительность, $м^3/ч$	Напор, м	Габаритные размеры, мм			Мощность электродвигателя, кВт
			длина	ширина	высота	
НД–100/10	0,1	100	475	215	465	0,27
НД–630/10	0,63	100	803	280	677	1,1
НД–1000/10	1,0	100	840	302	726	2,2
НД–1600/10	1,6	100	965	350	840	3,0
НД–250/10	2,5	100	970	350	840	3,0
1В6/10Х	0,45–0,43	19	2180	605	572	4,0

Приложение 6

Данные для выбора технических характеристик разных типов фильтров

Фильтры	Характеристика фильтрующего слоя						Скорость фильтрования, м/ч	
	Материал загрузки	Диаметр зерен, мм			Коэф. неоднородности загрузки	Высота слоя, м	при нормальном режиме $v_н$	при форсированном режиме $v_ф$
		наименьших	наибольших	эквивалентный				
Однослойные скорые фильтры с загрузкой различной крупности	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7–0,8	1,8–2	0,7–0,8	5–6	6–7,5
		0,7	1,6	0,8–1	1,6–1,8	1,3–1,5	6–8	7–9,5
		0,8	2	1–1,2	1,5–1,7	1,8–2	8–10	10–12
	Дробленный керамзит	0,5	1,2	0,7–0,8	1,8–2	0,7–0,8	6–7	7–9
		0,7	1,6	0,8–1	1,6–1,8	1,3–1,5	7–9,5	8,5–11,5
		0,8	2	1–1,2	1,5–1,7	1,8–2	9,5–12	12–14
Скорые фильтры с двухслойной загрузкой	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7–0,8	1,8–2	0,7–0,8	7–10	8,5–12
	Дробленный керамзит или антрацит	0,8	1,8	0,9–1,1	1,6–1,8	0,4–0,5		

Примечания:

1. Расчетные скорости фильтрования в указанных пределах должны приниматься в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, технологии ее обработки перед фильтрованием и других местных условий. При очистке воды для хозяйственно-питьевых нужд надлежит принимать меньшие значения скоростей фильтрования.
2. Однослойные скорые фильтры с крупностью загрузки 0,8–2 мм надлежит применять только для производственного водоснабжения.
3. Допускаются отклонения в крупности загрузки фильтров в пределах до 10 %.
4. При применении фильтрующих материалов, не предусмотренных табл. 2, [1], рекомендуемые параметры необходимо уточнять на основании экспериментальных данных или имеющегося опыта применения.
5. Эквивалентный диаметр зерен $d_э$ мм, следует определять из выражения $d_э = 100/\sum(P_i/d_i)$, где P_i – процентное содержание фракций со средним диаметром зерен d_i, мм.

6. Коэффициент неоднородности загрузки равен: $K_{нз} = d_{80}/d_{10}$, где d_{10} – диаметр зерен загрузки, мм, прошедших через отверстия сит в количестве 10 % общей массы; d_{80} – диаметр зерен загрузки, мм, прошедших через отверстия сит в количестве 80 % обшей массы.
7. При использовании фильтров в схемах очистки воды двухступенчатым фильтрованием скорости фильтрования на них следует принимать на 10–15 % больше.
8. При применении загрузок из дробленых керамзита и антрацита водовоздушная промывка не допускается.

Приложение 7

Параметры промывки водой загрузки из кварцевого песка

Фильтры и их загрузка	Интенсивность промывки, л/(с· м^2)	Продолжительность промывки, мин	Величина относительного расширения загрузки, %
Скорые с однослойной загрузкой диаметром D, мм: 0,7–0,8	12–14	6–5	45
0,8–1	14–16		30
1–1,2	16–18		25
Скорые с двухслойной загрузкой	14–16	7–6	50

Примечания:
1. Большим значениям интенсивности промывки соответствуют меньшие значения продолжительности .
2. При неподвижном устройстве для верхней промывки интенсивность ее следует принимать 3–4 л/(с·м^2), напор 30–40 м. Продолжительность промывки 5–8 мин, из них 2–3 мин до проведения нижней промывки. Распределительные трубы следует располагать на расстоянии 60–80 мм от поверхности загрузки через каждые 700–1000 мм. Расстояние между отверстиями в распределительных трубах или между насадками необходимо принимать 80–100 мм. При вращающемся устройстве интенсивность промывки следует принимать 0,5–0,75 л/(с·м^2), напор 40–45 м.

Приложение 8

Технические характеристики микрофильтров

Наименование показателей	Марка					
	ФБМ1519	ФБМ 1528	ФБМ 1537	ФБМ 028	ФБМ 3037	ФБМ 3046
Производительность, м³/ч	600	900	1100	2200	2700	3500
Размеры ячеек сеток: – фильтрующей – поддерживающей	0,04–60 мкм 2×2 мм					
Рабочее давление воды в промывном устройстве, МПа	0,2					
Площадь фильтрации, м^2	4	6	8	14	18	23
Диаметр барабана, мм	1500			3000		
Длина барабана, мм	1900	2800	3700	2800	3700	4600
Длина, мм	3500	4360	5330	4750	5490	6390
Ширина, мм	1700	1700	1700	3000	3000	3000
Высота, мм	2710	2710	2710	4300	4300	4300
Масса, кг	1550	1850	2050	3800	4150	4500

Характеристика микрофильтров и барабанных сеток

Показатель	Марка											
	МФ–1–1	БС–1–1	МФ–1–2	БС–1–2	МФ–1–3	БС–1–3	МФ–11–1	БС–11–1	МФ–11–2	БС1–1–2	МФ–11–3	БС–11–3
	Размер барабана (диаметр умноженный на длину), м											
	1,5×1		1,5×2		1,5×3		3×1,5		3 ×3		3 ×4	
Производительность, тыс. $м^3$/сут	4	10	8	20	12	30	15	35	30	70	45	100
Мощность электродвигателя, кВт	2,8	1,7	2,5	1,7	2,5	1,7	4	2,8	4	2,8	4	2,8
– длина, мм	2800		3900		4900		3300		4900		6400	
– ширина, мм	1670		1670		1670		3180		3180		3180	
– высота, мм	1960		1960		1960		3430		3430		3430	
- число фильтрующих элементов	18		36		54		18		36		54	

Список рекомендуемой литературы

1. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84.

2. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : в 3 т : учебное пособие для вузов / Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова ; М. Г. Журба, Л. И. Соколова, Ж. М. Говорова ; под общ. ред. М. Г. Журбы. – Т. 2: Очистка и кондиционирование природных вод. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : АСВ, 2010. – 552 с. с. – URL: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930932638.html (дата обращения: 29.03.2021). – Текст : электронный.

3. Фрог, Б. Н. Водоподготовка : учебник для студентов вузов, обучающихся по программе бакалавриата, направление 270800 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» / Б. Н. Фрог, А. Г. Первов. – Москва : АСВ, 2015. – 512 с. с. – URL: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930939743.html (дата обращения: 29.03.2021). – Текст : электронный.

4. Водоснабжение: в 2 т. : учебник для студентов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение» направления подготовки дипломир. специалистов «Строительство» / М. А. Сомов, М. Г. Журба; под ред. М. А. Сомова. – Т. 1: Системы забора, подачи и распределения воды. – Москва : АСВ, 2010. – 262 с. – Текст : непосредственный.

5. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – 10-е изд., доп. – Москва : БАСТЕТ, 2014. – 384 с. – Текст : непосредственный.

Составитель
Лариса Николаевна Савельева

**ВОДОПРОВОДНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
С ВОПРОСАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Методические указания к практическим занятиям
для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство,
направленность (профиль) Водоснабжение и водоотведение

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 26.04.2021. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 5,3.
Тираж 30 экз. Заказ .
Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Издательский центр Кузбасского государственного технического
университета имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.