

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проекту  
«Очистные сооружения коммунального водопровода»  
по дисциплине «Водоснабжение»  
для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство,  
направленность «Водоснабжение и водоотведение»  
(всех форм обучения)

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2021

УДК 628.16.067

Составитель Д.А. Бутко

Методические указания к курсовому проекту «Очистные сооружения коммунального водопровода» по дисциплине «Водоснабжение» для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство, направленность «Водоснабжение и водоотведение» (всех форм обучения) / Сост. Д.А. Бутко; Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – 52 с.

В работе приведены рекомендации по выбору очистных сооружений и технологии обработки воды, дана методика расчета основных сооружений.

Предназначены для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство, направленность «Водоснабжение и водоотведение» (всех форм обучения).

УДК 628.16.067

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой  
«Водоснабжение и водоотведение»  
канд. техн. наук, доцент Д.А. Бутко

---

В печать 15.11.2021.  
Формат 60×84/16. Объем 3,3 усл. п. л.  
Тираж 30 экз. Заказ № 303.

---

Издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2021

## Введение

Курсовой проект основывается на выполненных ранее расчетах производительности водопровода в принятом согласно заданию населенном пункте и имеет целью проектирование станции водоподготовки питьевой воды, соответствующей требованиям СанПиНа 1.2.3685 – 21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [1]. Качественные характеристики источника водоснабжения принимаются на основе выбора источника водоснабжения и примененной в составе водозаборного узла схемы предварительной очистки, выполненными в процессе работы над курсовым проектом «Водозаборные сооружения» дисциплины «Водоснабжение». Студентом при выборе технологической схемы сооружений могут быть использованы рекомендации о применении наиболее доступных технологий, актуальных на момент выполнения проекта. В процессе проектирования привлекаются знания по химии, химии воды, гидравлике, водоснабжению, способствуя их закреплению и применению на практике инженерных расчетов.

## 1. СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект включает в себя описательную часть в виде пояснительной записки и графическую часть на листах формата А1.

Пояснительная записка должна содержать:

- задание на курсовой проект;
- оглавление;
- введение;
- обоснование методов обработки воды;
- определение производительности водоочистной станции и выбор состава очистных сооружений;
- расчет основных элементов блока реагентного хозяйства и блока очистных сооружений, вспомогательного оборудования установок;
- составление высотной схемы и компоновки генплана;
- заключение;
- список использованной литературы.

Расчеты должны быть иллюстрированы эскизами и схемами, выполненными либо карандашом, либо в графическом редакторе, в одну линию с указанием основных размеров. В тексте пояснительной записки следует выполнять ссылки на нормативные и справочные документы, на основании которых выполнены расчеты или принятые значения показателей (величин).

Графическая часть должна содержать:

1. Генеральный план очистной станции в масштабе 1:500 с указанием всех основных и вспомогательных сооружений, коммуникаций между отдельными узлами, схемы дорог, насыпей, выемок, элементов благоустройства.

2. Высотная схема очистной станции в масштабе для вертикалей 1:100; 1:50, для горизонталей 1:200; 1:100 с указанием отметок уровней воды, осей труб, днищ сооружений и лотков. При компоновке очистных сооружений следует учитывать компактность их размещения с обеспечением удобства эксплуатации и созданием условий (с учетом рельефа местности) самотечного движения воды на всем ее пути от головного сооружения очистной станции до резервуара чистой воды. В случае проектирования станции с напорным движением воды следует указать месторасположение насосной (ых) установки (установок) с указанием необходимых напоров и расходов, экспликацию сооружений и условные обозначения трубопроводов.

3. План очистной станции в масштабе 1:100 и план реагентного хозяйства с показом всех вспомогательных устройств и помещений (трубопроводы вычерчиваются в две линии).

4. Разрезы очистной станции в масштабе 1:50 или 1:100. Проект выполняется в графическом редакторе, желательно с использованием 3D моделирования.

Объем графической части проекта 2 листа формата А1.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КАЧЕСТВУ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Качественные показатели питьевой воды по органолептическим, обобщенным, химическим, санитарно-микробиологическим и паразитологическим показателям устанавливаются с 1 марта 2021 года СанПиНом 1.2.3685-21[1], выдержки из которого приведены в табл.1.

Таблица 1

Некоторые показатели качества питьевой воды по СанПиНу 1.2.3685-21 [1]

Показатели 1	Допустимые величины 2
Мутность	не более 1,5 мг/л (по каолину) или 2,6 мг/л по формазину
Цветность	не более 20 град ПКШ
Запах	не более 2 баллов
Вкус	не более 2 баллов
Жесткость общая	не более 7 мг-экв/л
Водородный показатель (рН)	6,0-9,0
Содержание железа (суммарно)	не более 0,3 мг/л

1	2
Содержание фтора (F)	I, II клим. район – 1,5 мг/л; III клим. район – 1,2 мг/л; IV клим. район – 0,7 мг/л
Общий органический углерод (ТОС)	не более 5,0 мг/л
Перманганатная окисляемость	не более 5,0 мг O <sub>2</sub> /л
Общая минерализация (сухой остаток)	не более 1000 мг/л
Общее микробное число	не более 50 КОЕ/мл
Обобщенные колиформные бактерии	отсутствие
Колифаги	отсутствие
Энтерококки	отсутствие

### 3. ВЫБОР МЕТОДА ОЧИСТКИ ВОДЫ

Метод очистки природных вод и состав очистных сооружений определяются студентом на основании сравнения качества воды после водозаборных сооружений и требований к качеству питьевой воды, изложенным выше. Выбор может быть осуществлен на основании рекомендаций СП 31.13330.2012 [2] представленных в табл. 2 и Приложении Б [2]. Наиболее распространенными методами очистки воды на коммунальных системах водоподготовки являются осветление, обесцвечивание, обеззараживание, а в последнее время и мембранная фильтрация. Кроме того, при выборе реагентных методов водоподготовки следует определиться с видами применяемых реагентов и местом их ввода.

Таблица 2

#### Технологические характеристики основных сооружений водоподготовки

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, м <sup>3</sup> /сут
	Мутность, мг/л		Цветность, °		
	исходная вода	очищенная вода	исходная вода	очищенная вода	
1	2	3	4	5	6
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

1	2	3	4	5	6
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 70	До 1,5	До 70	До 20	Любая
8. Горизонтальные отстойники и осветлители со взвешенным осадком для частичного осветления воды	До 1500	8 – 15	До 120	До 40	Любая
9. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	До 80	До 10	До 120	До 30	Любая
10. Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	Св. 1500	До 250	До 120	До 20	Любая
11. Трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления	До 1000	До 1,5	До 120	До 20	До 800
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	"
14. Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией песка	До 1500	1,5	До 50	До 20	Любая

*Примечания:*

1. Мутность указана суммарная, включая образующуюся от введения реагентов.

2. На водозаборных сооружениях или на станции водоподготовки необходимо предусматривать установку сеток с ячейками 0,5 – 2 мм. При среднемесечном содержании в воде планктона более 1000 кл/мл и продолжительности "цветения" более 1 мес в году в дополнение к сеткам на водозаборе следует предусматривать установку микрофильтров на водозаборе или на станции водоподготовки.

3. При обосновании для обработки воды допускается применять сооружения, не указанные в [таблице 10](#) (плавучие водозаборы-осветлители, гидроциклоны, флотационные установки и др.).

Осветлители со взвешенным осадком следует применять при равномерной подаче воды на сооружения или постепенном изменении расхода воды в пределах не более 15% в 1 ч и колебании температуры воды не более +/- 1 °С в 1 ч.

Результат определения методов и схемы водоподготовки представляется обучающимся в пояснительной записке в виде схемы с указанием основных сооружений, мест ввода реагентов и подкачивающих насосных станций (при необходимости).

## 4. РЕАГЕНТНОЕ ХОЗЯЙСТВО

### 4.1. Определение расчетных доз реагентов

Реагентное хозяйство включает в себя следующие элементы:

- реагентное хозяйство по приготовлению коагулянта;
- реагентное хозяйство по приготовлению флокулянта;
- реагентное хозяйство по приготовлению подщелачивающих реагентов (известковое хозяйство, содовое хозяйство).

Основой для расчета элементов реагентного хозяйства является определение доз применяемых реагентов.

#### Доза коагулянта.

В качестве коагулянта применяют оксихлорид (полиоксихлорид) алюминия, сернокислый алюминий (глинозем)  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ , железный купорос  $Fe_2(SO_4)_3$ , хлорное железо  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ , комплексные реагенты с содержанием в них соединений железа и соединений алюминия, различных соединений алюминия (сернокислый алюминий совместно с оксихлоридом алюминия) и т.д.

В настоящее время действующий СП 31.13330-2012 [2] не содержит указаний по способу определения дозы коагулянта, оставляя свободу выбора проектировщику, поэтому считаем верным использовать положения ранее действующего СНиП 2.04.02-84\* [3], где дозу коагулянта  $D_k$  по безводному продукту ( $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  и  $FeCl_3$ ) определяют по мутности по табл. 3 [3] или по цветности (формула 1), принимая большую из полученных величин. Дозы иных реагентов получают пересчетом определенных для  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  и  $FeCl_3$  доз на действующее вещество. Точную дозу коагулянта можно установить только на основании пробного коагулирования.

Дозу коагулянта  $D_k$  по безводному продукту ( $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  и  $FeCl_3$ ) по цветности по СНиП 2.04.02-84\*[3] определяют

$$D_k = 4\sqrt{Ц}, \quad (1)$$

где Ц – цветность обрабатываемой воды, град ПКШ.

Алюминийсодержащие реагенты могут дозироваться либо по оксиду алюминия  $Al_2O_3$ , либо по  $Al^{3+}$ . Аналогично могут дозироваться и железосодержащие коагулянты. Пересчет может быть осуществлён по формуле:

$$D_k(Al_2O_3; Al^{3+}) = \frac{D_k(Al_2(SO_4)_3) \cdot M(Al_2O_3; Al^{3+})}{M(Al_2(SO_4)_3)}, \quad (2)$$

где  $M(Al_2(SO_4)_3)$  – молярная масса сернокислого алюминия, равная 342;  $M(Al_2O_3; Al^{3+})$  – молярная масса оксида алюминия или алюминия в зависимости от выполнения дозирования, равное 102 и 27 соответственно.

#### Доза флокулянта.

СП 31.13330-2012 [2] не содержит указаний по способу определения дозы флокулянта, поэтому считаем верным использовать положения ранее действующего СНиП 2.04.02-84\* [3], где дозу флокулянта определяют по п. 6.17 в зависимости от технологии очистки и места введения флокулянта.

Ввод раствора флокулянта осуществляют до или после коагулянта.

Доза подщелачивающих реагентов (известь, сода).

Коагуляция реагентами – солями серной или соляной кислоты сопровождается изменением рН при образовании в результате химических реакций соответствующих кислот, реакция по образованию хлопьев идет вяло. Следовательно, необходимо обеспечить достаточный щелочной резерв, т.е. соответствующую щелочность воды при необходимости искусственно подщелачивая ее. Необходимость подщелачивания проверяют по формуле:

$$D_{щ} = K_{щ} (D_k/e_k - Щ_0 + 1), \quad (3)$$

где  $D_k$  – максимальная в период подщелачивания доза безводного коагулянта, мг/л;  $e_k$  – эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг/мг-экв, принимаемая для  $Al_2(SO_4)_3$  – 57,  $Fe_2(SO_4)_3$  – 54,  $FeCl_3$  – 67;  $K_{щ}$  – коэффициент пропорциональности, равный для извести (по CaO) – 28, для соды (по  $Na_2CO_3$ ) – 53;  $Щ_0$  – максимальная щелочность исходной воды, мг-экв/л.

Реагенты для подщелачивания в большинстве случаев вводятся одновременно с вводом коагулянта.

**Пример:** определить необходимые дозы: коагулянта сернокислый алюминий, извести и точки ввода их при обработке воды, имеющей мутность 350 мг/л, цветность – 49 град, щелочность 1,25 мг-экв/л.

Дозу сернокислого алюминия назначаем в зависимости от мутности воды по табл. 3 [2] – 40 мг/л.

Проверяем достаточна ли доза коагулянта для снижения цветности по формуле (6) [2]:

$$D_k = 4\sqrt{49} = 28 \text{ мг/л} < 40 \text{ мг/л}.$$

Для подщелачивания применяем известь, доза которой равна:

$$D_{щ} = 28 \cdot \left( \frac{40}{57} - 1,25 + 1 \right) = 12 \text{ мг/л}.$$

## 4.2. Расчет емкостей реагентного хозяйства

Реагентное хозяйство организуется по двум схемам: сухое хранение реагентов и мокрое хранение реагентов. Схема сухого хранения включает в себя: **склад хранения реагента**, растворные баки, расходные баки, дозаторы, воздуходувные агрегаты. Схема мокрого хранения включает в себя: растворные баки, **баки-хранилища**, расходные баки, дозаторы, воздуходувные агрегаты. В независимости от схемы хранения на станции должен быть обеспечен запас реагентов на 15-30 суток максимального расхода реагента.

**Сухое хранение реагентов.**

Коагуляционное хозяйство.

Сооружения сухого хранения коагулянта рассчитываются в следующем порядке:

Площадь склада для коагулянта или извести

$$F_{скл} = \frac{Q_{сут} \cdot D_k \cdot T \cdot \alpha}{10000 \cdot P_c \cdot \sigma_0 \cdot h_k}, \quad (4)$$

где  $T$  – продолжительность хранения коагулянта (извести) на складе, сут.;  
 $\alpha$  – коэффициент для учета дополнительной площади проходов на складе, равный 1,15;  $P_c$  – содержание безводного продукта в коагулянте, %;  
 $\sigma_0$  – объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом, т/м<sup>3</sup>;  $h_k$  – допустимая высота слоя коагулянта (извести) на складе.

При определении площади склада для хранения реагента высота слоя коагулянта принимается 2 м, а при наличии соответствующей механизации высота слоя коагулянта может быть увеличена до 3,5 м.

Растворные баки предназначены для растворения твердого коагулянта в воде с использованием перемешивания (на крупных станциях с использованием воздуха, на мелких и средних могут использоваться лопастные мешалки). Емкость растворных баков:

$$W_{раст} = \frac{Q_{ч} \cdot n \cdot D_k}{10000 \cdot B_p \cdot \gamma}, \text{ м}^3, \quad (5)$$

где  $Q_{ч}$  – часовой расход воды;  $D_k$  – максимальная доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, т/м<sup>3</sup>;  $B_p$  – концентрация раствора коагулянта в растворных баках, принимаемая до 17% – для неочищенного, до 20% – для очищенного кускового, до 24% – для очищенного гранулированного;  $\gamma$  – плотность раствора коагулянта, г/м<sup>3</sup>;  $n$  – время, на которое заготавливают раствор коагулянта, ч.

Для станций производительностью до 1000 м<sup>3</sup>/сут при круглосуточной работе  $n = 12-24$  ч, а при некруглосуточной работе оно равно числу часов станции производительностью 1000 м<sup>3</sup>/сут и более  $n=10-12$  ч.

Время полного цикла приготовления коагулянта при температуре воды до 10°С принимается 10-12 ч. Для ускорения цикла приготовления коагулянта до 6-8 ч воду подогревают до 40°С.

Принимается к устройству не менее трех баков рассчитанной емкости. Размеры бака определяются исходя из высоты слоя раствора от 1,0 до 1,5 м.

Раствор коагулянта перепускают самотеком из растворных в расходные баки и разбавляют водой до соответствующих концентраций.

Емкость расходных баков, м<sup>3</sup>

$$W_{расх} = \frac{W_{раст} \cdot B_p}{B}, \quad (6)$$

где  $B$  – концентрация раствора коагулянта в расходных баках, принимаемая в пределах 5-12% в пересчете на безводный продукт.

Принимается к устройству не менее двух баков рассчитанной емкости. Размеры бака определяются исходя из высоты слоя раствора от 1,5 до 2,0 м.

Растворные и расходные баки выполняют обычно из железобетона, внутренние стенки их обкладывают кислотоупорным кирпичом или кислото-

стойкой плиткой на кислотостойкой замазке, или иным кислотостойким покрытием.

Диаметр трубопровода для опорожнения и сброса осадка в водосток принимают не менее 150 мм. При перемешивании раствора коагулянта путем барботирования сжатым воздухом диаметр воздухораспределительных труб определяют по скорости движения в них воздуха 10-15 м/с, а число отверстий (диаметр отверстий 3-4 мм) – по скорости выхода из них воздуха 20-30 м/с. При этом расход воздуха рассчитывают в зависимости от площади баков в плане и интенсивности его подачи, принимаемой в растворных баках 8-10 л/м<sup>2</sup>·с и в расходных баках для перемешивания – 3-5 л/м<sup>2</sup>·с. Для подачи воздуха применяют воздуходувки.

Отбор готового раствора из расходного бака следует предусматривать с верхнего уровня с помощью поплавковых устройств. Для перекачивания реагентов применяют кислотостойкие насосы.

#### Известковое хозяйство.

С целью приготовления известкового молока или раствора должны быть запроектированы: устройства для гашения извести, баки для приготовления известкового молока, дозаторы для введения его в воду.

Гашение извести производится в известегасилках, в которые на 1 т товарного продукта подают 7-10 м<sup>3</sup> воды, подогреваемой до температуры 60-70° С. Из известегасильных аппаратов известковое молоко сливается в промежуточные баки, в которых осуществляется непрерывное перемешивание. Количество баков принимается равным количеству известегасилок. Емкость баков принимается равной емкости известегасилок.

Объем расходных баков извести

$$W = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot n \cdot D_{\text{к}}}{10000 \cdot B_{\text{и}} \cdot \gamma_{\text{и}}}, \quad (7)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  – расчетный расход воды, м<sup>3</sup>/ч;  $n$  – время, на которое заготавливают известковое молоко,  $n=24$  ч;  $D_{\text{к}}$  – доза извести в пересчете на СаО, г/м<sup>3</sup>;  $B_{\text{и}}$  – концентрация известкового молока (не более 5 %);  $\gamma_{\text{и}}$  – объемный вес известкового молока, принимаемый в расчетах равным 1 т/м<sup>3</sup>.

Количество баков принимается не менее двух.

Перемешивание известкового молока в баках может осуществляться гидравлическим методом (с помощью циркуляционного насоса), сжатым воздухом и лопастными мешалками. Баки гидравлического перемешивания известкового молока объемом 1-4 м<sup>3</sup> изготавливаются в РФ серийно. Производительность насоса для перемешивания подбирают исходя из обеспечения скорости восходящего потока в цилиндрической части бака не менее 5 мм/с. При перемешивании известкового молока воздухом, интенсивность его подачи должна составлять 8-10 л/м<sup>2</sup>·с. Кроме того в расходных баках могут использоваться лопастные мешалки с количеством лопастей не менее двух, а число оборотов мешалок рекомендуется принимать не менее сорока в минуту.

При расходе извести до 50 кг/сут по СаО допускается приготовление известкового раствора в сатураторах двойного насыщения.

Площадь склада для хранения реагента определяется исходя из высоты слоя коагулянта – 2 м, извести – 1,5 м. При наличии соответствующей механизации высота слоя коагулянта может быть увеличена до 3,5 м, извести – до 2,5 м. В общей площади склада следует учитывать площадь проходов между стеллажами с реагентами, которая задается путем увеличения расчетной площади на коэффициент  $\alpha$ .

**Пример:** рассчитать установки для хранения и приготовления раствора коагулянта для станции производительностью 42800 м<sup>3</sup>/сут, доза коагулянта 40 мг/л, T= 30 сут,  $\alpha = 1,15$ ;  $P_c = 33,5 \%$ ;  $\sigma_0 = 1,1 \text{ т/м}^3$ ,  $h_k = 2 \text{ м}$ .

Площадь склада коагулянта

$$F_{скл} = \frac{42800 \cdot 40 \cdot 30 \cdot 1,15}{10000 \cdot 33,5 \cdot 1,1 \cdot 2} = 80 \text{ м}^2.$$

Емкость растворных баков при  $n = 12 \text{ ч}$ ,  $V_p = 15 \%$ ,  $\gamma = 1,16$

$$W_{расч} = \frac{42000 \cdot 12 \cdot 40}{10000 \cdot 24 \cdot 15 \cdot 1,16} = 4,91 \text{ м}^3.$$

При рабочем слое 1,0 м размеры баков в плане 2,7х1,8 м. Принимаем к установке три бака рассчитанной емкости. Емкость расходных баков при  $V = 5\%$ :

$$W_{расх} = \frac{4,91 \cdot 15}{5} = 14,73 \text{ м}^3.$$

При высоте слоя раствора коагулянта 2 м размеры бака в плане 2,7х2,7 м. Растворение коагулянта и перемешивание его раствора в баках осуществляется с помощью воздуха.

Расчетный расход воздуха:

а) для растворных баков (одновременно работают два бака):

$$q_{расч}^{возд} = n \cdot F_{расч} \cdot W = 2 \cdot (2,7 \cdot 1,8) \cdot 10 = 97,2 \text{ л/с};$$

б) для расходных баков (один в работе):

$$q_{расх}^{возд} = 1 \cdot 2,7 \cdot 2,7 \cdot 5 = 36,45 \text{ л/с}.$$

Суммарный расход воздуха

$$\sum q^{возд} = 97,2 + 36,45 = 133,65 \text{ л/с} \text{ или } 8,0 \text{ м}^3 / \text{мин}.$$

Устанавливаем две воздуходувки (одну рабочую и одну резервную) марки ВК-12 производительностью 10 м<sup>3</sup>/мин и напором 15 м, с электродвигателем А-82/6 мощностью 40 кВт при скорости вращения  $n = 960 \text{ об/мин}$ .

**Пример:** рассчитать установки для хранения извести и приготовления известкового молока.

Площадь склада извести для станции производительностью 42800 м<sup>3</sup>/сут, доза извести 12 мг/л, T = 30 сут,  $\alpha = 1,15$ ,  $P_c = 50 \%$ ,  $\sigma_0 = 1 \text{ т/м}^3$ ,  $h_u = 1,5 \text{ м}$

$$F_{скл}^{изв} = \frac{42800 \cdot 12 \cdot 30 \cdot 1,15}{10000 \cdot 50 \cdot 1,15} = 23,62 м^2.$$

Комовую известь в реагентном хозяйстве гасят в известегасилках, в которые на 1 т товарного продукта подают 7-10 м<sup>3</sup> воды.

Суточный расход извести

$$Q_{сут} = \frac{42800 \cdot 12}{1000 \cdot 1000} = 0,51 м / сут.$$

Для гашения извести установлена известегасилка производительностью 1т/сут.

Далее приготовление рабочего раствора и его дозирование может осуществляться по двум вариантам (при выполнении курсового проекта обучающийся выбирает один из нижеприведенных вариантов).

**ВАРИАНТ 1.** Крепкое известковое молоко из известегасилок перепускается в баки с перемешиванием сжатым воздухом.

Объем баков

$$W_{изв} = \frac{1783 \cdot 12 \cdot 12}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 5,14 м^3.$$

При рабочем слое известкового молока 1,5 м размеры бака – 1,85x1,85 м. Принимаем к установке два бака. Расход воздуха для перемешивания известкового молока:

$$q^{возд} = 1 \cdot 1,85 \cdot 1,85 \cdot 10 = 34,23 л/с или 2,05 м^3/мин.$$

Устанавливаем две воздуходувки (одну рабочую и одну резервную) марки ВК-3 производительностью 3,1 м<sup>3</sup>/мин.

**ВАРИАНТ 2.** Известковое молоко из известегасилок перепускается в баки с гидравлическим перемешиванием (с помощью насосов).

Емкость баков при 8-часовом периоде заготовки:

$$W_{изв} = \frac{1783 \cdot 8 \cdot 12}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 3,42 м^3.$$

Для гидравлического перемешивания известкового молока. Применяют насосы, производительность которых

$$q_{нас} = q_{изв.мол} + q_{тр} + q_{взв}, \quad (8)$$

где  $q_{изв.мол}$  – расход вводимого известкового молока

$$q_{изв.мол} = \frac{q \cdot D_{изв}}{10000 \cdot B \cdot \gamma} = \frac{1783 \cdot 12}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 0,43 м^3 / ч;$$

$q_{тр}$  – количество известкового молока, подаваемое по трубопроводу диаметром 50 мм к дозатору ДИМБА при скорости не менее 0,8 м/с (п.6.38 [2]),

$$q_{тр} = F_{тр} \cdot V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} V = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} 0,8 = 0,00157 м^3/с или 5,65 м^3 / ч.$$

(из них 0,43 м<sup>3</sup>/ч на дозирование, а остальное количество 5,65-0,43 =5,12 м<sup>3</sup>/ч возвращается из переливного кармана в бак);

$q_{\text{взв}}$  - расход циркулирующего известкового молока в баке, определяется из условия создания восходящей скорости движения в баке не менее 5 мм/с,

$$q_{\text{взв}} = 3,6 \cdot S_{\text{осн}} \cdot V = 1,77 \cdot 10 \cdot 3,6 = 64 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Производительность насоса

$$q_{\text{нас}} = 0,43 + 5,65 + 64 = 70,08 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Принимается к установке насос 4НП производительностью 90 м<sup>3</sup>/ч, напором 18 м, с электромотором N = 12,5 кВт, n = 960 об/мин.

### **Мокрое хранение реагентов**

#### **Коагуляционное хозяйство.**

При мокром хранении коагулянта раствор его готовится на станции в растворных баках. Концентрация раствора принимается 15-20 %. Объем баков следует принимать из расчета 2,2-2,5 м<sup>3</sup> на 1 т товарного неочищенного коагулянта к 1,9-2-2 м<sup>3</sup> на 1 т очищенного коагулянта. Общая емкость растворных баков увязывается с объемом разовой поставки реагента. Количество растворных баков должно быть не менее трех.

При месячном потреблении коагулянта больше объема разовой поставки часть реагента должна храниться в баках-хранилищах концентрированного раствора реагента.

Объем баков- хранилищ определяется из расчета 1,5-1,7 м<sup>3</sup> на 1 т товарного продукта. Количество баков- хранилищ не менее 3 (п.6.206 [2]).

**Пример:** рассчитать емкость растворных баков-хранилищ для станции производительностью 42800 м<sup>3</sup>/сут, T = 30 сут, D<sub>к</sub> = 40 мг/л, P<sub>с</sub> = 33,5%, σ<sub>0</sub> = 1,1 т/м<sup>3</sup>. Доставка коагулянта вагоном емкостью 60 т.

Месячная потребность коагулянта в расчете на товарный продукт:

$$Q_{\text{коаг}} = \frac{42800 \cdot 30 \cdot 40}{10000 \cdot 33,5 \cdot 1,1} = 139,3 \text{ т}.$$

Объем баков для растворения коагулянта определяем из расчета разовой поставки в вагоне 60 т:

$$W_{\text{раст}} = 60 \cdot 2,8 = 150 \text{ м}^3.$$

Количество растворных баков принимается 5 шт (не менее 3), тогда емкость одного бака

$$W_{1\text{раст}} = 150 / 5 = 30 \text{ м}^3.$$

Из конструктивных соображений к возможности загрузки баков принимаем размеры баков 6,0 x 3,0 в осях (в чистоте 5,8 x 2,8м) тогда глубина слоя раствора

$$H_{\text{сл}} = \frac{W_{1\text{раст}}}{F_{1\text{раст}}} = \frac{30}{5,8 \cdot 2,8} = 1,84 \text{ м}.$$

Так как месячная потребность в коагулянте больше объема разовой поставки, то часть коагулянта хранится в баках-хранилищах.

Емкость баков-хранилищ

$$W_{\text{б.хр.}} = (139,3 - 60) \cdot 1,7 = 134,8 \text{ м}^3.$$

Количество баков-хранилищ принимается 3 шт. Емкость каждого бака:

$$W_{\text{1б.хр.}} = \frac{134,8}{3} = 44,9 \text{ м}^3.$$

Размеры баков-хранилищ 5,8x2,8, тогда глубина слоя раствора

$$\frac{44,9}{5,8 \cdot 2,8} = 2,76 \text{ м}$$

Объем расходных баков

$$W_{\text{расх}} = \frac{1783 \cdot 40 \cdot 12}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 17,1 \text{ м}^3.$$

При высоте слоя раствора коагулянта 2 м размеры бака в плане 2,92x2,92 м. Растворение коагулянта и перемешивание его раствора в баках осуществляется с помощью воздуха.

Расчетный расход воздуха:

а) для растворных баков (одновременно работают 5 баков):

$$q_{\text{возд}} = n \cdot F_{\text{раств}} \cdot \omega = 5 \cdot 5,8 \cdot 2,8 \cdot 10 = 812 \text{ л/с или } 48,5 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Принимаем к установке четыре воздухоподогреватели ВВН-12;

б) для расходных баков (перемешивание осуществляется в одном баке):

$$q_{\text{возд}} = 1 \cdot 2,92 \cdot 2,92 \cdot 5 = 42,63 \text{ л/с, или } 2,56 \text{ м}^3 / \text{мин.}$$

Принимаем к установке две воздухоподогреватели (одну рабочую, одну резервную) марки ВК-6 производительностью 4,9 м<sup>3</sup>/мин, напором 10 м.

При использовании комовой извести следует предусматривать ее гашение и хранение в емкостях в виде теста 35-40 % концентрации. Объем емкостей следует определять из расчета 3,5-5 м<sup>3</sup> на 1 т товарной извести (п.6.207 [2]).

**Пример:** рассчитать емкость для хранения известкового теста на станции производительностью 42800 м<sup>3</sup>/сут, T = 30 сут, D<sub>и</sub> = 12 г/м<sup>3</sup>, P<sub>с</sub> = 50 %, σ<sub>0</sub> = 1 т/м<sup>3</sup>.

Месячная потребность извести в расчете на товарный продукт

$$Q_{\text{и}} = \frac{42800 \cdot 30 \cdot 12}{10000 \cdot 50 \cdot 1} = 30,8 \text{ т.}$$

Объем емкостей для гашения и хранения извести

$$W_{\text{и}} = 30,8 \cdot 10 = 308 \text{ м}^3.$$

Принимаем к установке 5 баков-хранилищ размером 5,8x5,8 м каждый.

Глубина бака  $308/5 \times 5,8 \times 5,8 = 1,83 \text{ м}$ .

Из баков-хранилищ известковое тесто подается в баки-мешалки, где приготавливается известковое молоко.

### 4.3. Дозирование реагентов

Дозирование коагулянта на современных станциях производится с использованием насосов-дозаторов отечественного и импортного производства, а дозирование известкового молока – дозаторами типа ДИМБА. Весьма редко встречается на станциях дозирование в сухом виде (весовыми дозаторами), или с использованием доски Игнатова, или дозатора В.В. Хованского.

Насосы-дозаторы подбираются по расходу реагента:

$$q_n = \frac{q \cdot D_{u;k}}{10000 \cdot B_{u;k} \cdot \gamma}, \quad (9)$$

где  $B_{u;k}$  – концентрация раствора реагента в расходных баках.

Число дозаторов зависит от количества точек ввода реагента. На каждую точку ввода следует принимать не менее двух насосов-дозаторов (один рабочий и один резервный).

**Пример:** подобрать насос-дозатор коагулянта для станции с расходом  $1783 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $D_k = 40 \text{ мг/л}$ ,  $B_k = 5 \%$ , точки ввода две.

Производительность насоса-дозатора

$$q_n = \frac{1783 \cdot 40}{10000 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 2} = 0,71 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимаем к установке два насоса-дозатора типа НД2,5-800/6 К14А (Ар) (один рабочий, один резервный) на каждую точку ввода.

**Пример:** подобрать насос-дозатор известкового молока для станции с расходом  $1783 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $D_u = 12 \text{ мг/л}$ ,  $B_u = 5 \%$ , точки ввода две.

Количество известкового молока, которое необходимо дозировать

$$q_u = \frac{1783 \cdot 12}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 0,427 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В случае применения баков с перемешиванием сжатым воздухом дозирование следует осуществлять с помощью насоса-дозатора.

Принимаем к установке 2 насоса-дозатора (один рабочий, один резервный). В случае применения гидравлического перемешивания, дозирование известкового молока следует осуществлять с помощью дозаторов типа ДИМБА-1, с пропускной способности до  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Отечественные и иностранные производители предлагают для небольших и средних станций комплексные решения – установки, объединяющие в себе растворно-расходный бак и насос(ы)-дозаторы. Подбор таких установок осуществляется исходя из необходимой производительности насоса-дозатора и емкости расходного бака на расчетное время дозирования коагулянта. Растворный бак может быть выполнен отдельно с перекачкой готового концентрированного раствора в бак установки.

#### 4.4. Флокулянты, расчет установок для приготовления и дозирования.

Для интенсификации процесса коагулирования применяются флокулянты – полиакриламиды (катионные, анионные, неоионогенные) различных торговых марок, высокомолекулярные органические флокулянты, активированная кремнекислота (АК).

Дозы флокулянтов следует принимать согласно требованиям п.6.17 [2] в зависимости от точки ввода реагентов, мутности, цветности, температуры обрабатываемой воды.

Емкость растворных баков для полиакриламида (ПАА)

$$W_{\text{раст}} = \frac{q \cdot n \cdot D_{\text{ПАА}}}{10000 \cdot B_{\text{ПАА}} \cdot \gamma_{\text{ПАА}}}, \quad (10)$$

где  $B_{\text{ПАА}}$  – крепость раствора ПАА принимается 0,5-1,0 %.

Растворение товарного полиакриламида и высокомолекулярных органических флокулянтов выполняется в установках, оборудованных мешалками различного типа (лопастные, пропеллерные) предлагаемые на рынке от различных производителей. Длительное время с этой целью использовались отечественные установки типа УРП емкостью 1,2 м<sup>3</sup>. В состав установки входит насос 2К-6 и лопастная мешалка с числом оборотов вала 800-1000 в минуту, обеспечивающие растворение, циркуляцию раствора, а также подачу ее в расходные баки. Расчетная продолжительность приготовления раствора из ПАА геля – 25-40 мин, из ПАА сухого -2 ч, органического высокомолекулярного флокулянта принимается на основе данных завода-изготовителя.

Приготовленный раствор флокулянта перекачивается насосами или перепускается самотеком в расходные баки. Емкость расходных баков для раствора ПАА следует определять исходя из сроков хранения 1% растворов не более 15 сут, 0,4-0,5 % растворов – 7 сут, 0,1-0,3 % – 2 сут.

Приготовление растворов активной кремнекислоты (АК) производится путем обработки жидкого стекла раствором серноокислого алюминия или хлора (п.6.32 [2]).

Активацию серноокислым алюминием или хлором следует производить на установках непрерывного или периодического действия.

**Пример:** рассчитать установку для приготовления и дозирования ПАА для станции производительностью 1783 м<sup>3</sup>/ч, мутностью 350 мг/л, цветностью 49 град. Точка ввода ПАА – одна перед отстойниками (осветлителями со слоем взвешенного осадка). Согласно назначенной точки ввода ПАА и мутности исходной воды по табл. 17 [2] определяем дозу ПАА – 0,4 мг/л.

Емкость растворного бака

$$W_{\text{раст}} = \frac{1783 \cdot 24 \cdot 0,4}{10000 \cdot 0,9 \cdot 1} = 1,9 \text{ м}^3.$$

Принимаем к установке 2 мешалки УРП, емкость – 1,2 м<sup>3</sup> каждая (две рабочие, одна резервная).

Для приготовления необходимого количества раствора принимаем два затворения в сутки.

Емкость расходных баков

$$W_{\text{расх}} = \frac{1,9 \cdot 0,9}{0,5} = 3,43 \text{ м}^3.$$

При рабочем слое 2 м размеры бака в плане  $1,31 \times 1,31 = 1,72 \text{ м}^2$ .

Принимаем три бака.

Дозирование раствора ПАА осуществляем с помощью насоса-дозатора, производительность

$$q_{\text{ПАА}} = \frac{1783 \cdot 0,4}{10000 \cdot 0,5 \cdot 1,2} = 0,07 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимаем к установке два насоса-дозатора типа НД-6,3/100 К14А (Ар) (один рабочий, один резервный) на каждую точку ввода.

## 5. СМЕСИТЕЛИ

Смесители предназначены для обеспечения интенсивного смешивания реагентов с обрабатываемой водой. С этой целью на сооружениях водоподготовки надлежит предусматривать смесители гидравлического типа (вихревые, шайбовые, перегородчатые) и смесители механического типа (мешалок). Число смесителей (секций) следует принимать не менее двух с возможностью отключения их в периоды интенсивного хлопьеобразования. Резервные смесители принимать не следует, но необходимо предусматривать обводной трубопровод в обход смесителей с размещением на них резервных устройств ввода реагентов.

### 5.1. Шайбовый смеситель

Представляет собой сужение в напорном водоводе в виде вставки Вентури или диафрагмы. Такой смеситель можно применять на водоочистных станциях любой производительности при условии отсутствия реагентов, вводимых в воду в виде суспензии. В качестве недостатка такого смесителя можно указать на невозможность в нем обеспечить разрыв времени между вводимыми реагентами (наиболее часто это флокулянты и коагулянты). При необходимости такого разрыва следует устраивать несколько последовательно расположенных друг за другом шайбовых смесителей на расстоянии, обеспечивающим при расчетной скорости движения воды в трубопроводе требуемое время между введением различных реагентов. Также следует учитывать, что полное смешение реагента с водой не обеспечивается непосредственно в смесителе, а происходит не менее чем через 30-60 секунд движения воды по трубопроводу после смесителя.

Скорость движения воды определяется из условия, чтобы потери напора находились в пределах 0,2-0,3 м.

$$h = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (11)$$

В этой формуле  $V_1$  и  $V_2$  – скорости движения воды соответственно в напорном водоводе и диафрагме в метрах в секунду. Величину  $V_1$  принимают в пределах 1-1,2 м/с. Диаметр отверстия диафрагмы

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot V_2}}, \quad (12)$$

где  $Q_c$  – расчетный расход, м<sup>3</sup>/с.

**Пример:** рассчитать шайбовый смеситель для станции производительностью  $Q_c = 1545 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,430 \text{ м}^3/\text{с}$ .

По таблицам Шевелева определим диаметр напорного водовода при  $V_1 = 1,12 \text{ м/с}$ ,  $D = 700 \text{ мм}$ . Из формулы (11) определяем значение  $V_2$ :

$$V_2 = \sqrt{2gh + V_1^2} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,3 + 1,12^2} = \sqrt{7,14} = 2,68 \text{ м/с}.$$

Диаметр отверстия диафрагмы

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,430}{3,14 \cdot 2,68}} = \sqrt{0,2} = 0,43 \text{ м}, \quad d = 430 \text{ мм}.$$

## 5.2. Вихревой смеситель

Вихревые смесители применяются при поступлении на станцию воды с крупнодисперсными взвешенными веществами и при использовании реагентов (хотя бы одного) в виде суспензий или частично осветленных растворов. Смесители должны иметь не менее двух отделений со временем пребывания в них не более 2-х минут. Вихревые смесители следует принимать в виде конического или пирамидального вертикального диффузора с углом между наклонными стенками 30-45°, высотой верхней части с вертикальными стенками от 1 до 1,5 м. Скорость входа воды в смеситель принимается в пределах от 1,2 до 1,5 м/с, скорость восходящего движения воды под водосборным устройством  $V_B$  от 30 до 40 мм/с, скорость движения воды в конце водосборного лотка  $V_C$  равной 0,6 м/с.

Площадь поперечного сечения в верхней части

$$F_B = \frac{Q_c}{3,6 \cdot V_B}, \quad (13)$$

где  $Q_c$  – расчетный часовой расход, м<sup>3</sup>/ч;  $V_B$  – скорость восходящего движения под водосборным устройством, мм/с.

В плане смеситель может быть прямоугольным с пирамидальной нижней частью или круглым с конической нижней частью (усеченный конус).

Объем нижней части смесителя  $W_H$  в случае пирамидальной части

$$W_H = \frac{1}{3} h_H (F_B + F_H + \sqrt{F_B \cdot F_H}), \quad (14)$$

где  $h_H$  – высота нижней части смесителя, м;  $F_H$  – площадь поперечного сечения нижней части смесителя, может быть принята равной площади поперечного сечения подводящей трубы, м<sup>2</sup>.

Объем нижней части смесителя  $W_H$  в случае конической части

$$W_H = \frac{1}{3} \pi h_k (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2), \quad (15)$$

где  $r_1$  – радиус верхней части смесителя, м;  $r_2$  – радиус нижней части смесителя, может быть принят равным наружному радиусу подводящей трубы, м;  $h_k$  – высота конической части смесителя, м:

$$h_k = \left( \frac{D_B - d_H}{2} \right) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = (r_1 - r_2) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (16)$$

где  $D_B$  и  $d_H$  – соответственно диаметр верхней цилиндрической и нижней части конуса, м;

$\alpha$  – угол между стенками.

Полный объем смесителя

$$W = \frac{Q_c \cdot t}{60}, \quad (17)$$

где  $t$  – время пребывания воды в смесителе 1,5-2 мин.

Объем верхней части смесителя  $W_B$  и высота верхней части:

$$W_B = W - W_H; \quad (18)$$

$$h_B = \frac{W_B}{F_H}. \quad (19)$$

Общая высота смесителя

$$H = h_B + h_H + h_{c.з.}, \quad (20)$$

где  $h_{c.з.}$  – строительный запас, м, принимаемый равным  $0,3 \div 0,5$  м.

Диаметр отверстий в сборном желобе принимается от 20 до 50 мм.

**Пример:** рассчитать вихревой смеситель для станции производительностью  $Q_c = 955$  м<sup>3</sup>/ч (смеситель круглый в плане).

1. Площадь верхней части смесителя

$$F_B = \frac{477,5}{108} = 4,5 \text{ м}^2, \quad D_B = \sqrt{\frac{4,5 \times 4}{3,14}} = 2,4 \text{ м}.$$

2. Площадь нижней части смесителя

$$F_H = \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 0,13 \text{ м}^2.$$

$$d_H = 400 \text{ мм}.$$

3. Высота низшей, конической части смесителя

$$h_k = \left( \frac{D_B - d_H}{2} \right) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \left( \frac{2,4 - 0,4}{2} \right) \cdot 2,75 = 2,75 \text{ м}.$$

4. Объем нижней части

$$W_k = \frac{1}{3} \pi h_k (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2,75 (1,2^2 + 1,2 \cdot 0,2 + 0,2^2) = 4,95 \text{ м}^3.$$

5. Объем смесителя

$$W = \frac{477,5 \cdot 2}{60} = 16 \text{ м}^3.$$

6. Объем верхней части смесителя

$$W_B = 16 - 4,95 = 11,05 \text{ м}^3.$$

7. Высота верхней цилиндрической части

$$h_B = \frac{11,05}{4,5} = 2,45 \text{ м}.$$

8. Общая высота смесителя

$$H = 2,45 + 2,75 + 0,5 = 5,7 \text{ м}.$$

9. Площадь сечения сборного желоба

$$F_{\text{Ж}} = \frac{Q_{\text{Ж}}}{V_{\text{Ж}}} = \frac{238,8}{3600 \cdot 0,6} = 0,11 \text{ м}^2,$$

где  $Q_{\text{Ж}} = \frac{Q_{\text{С}}}{2} = \frac{477,5}{2} = 238,8 \text{ м}^3 / \text{ч}.$

10. Площадь отверстий в сборном желобе

$$F_{\text{ОТВ}} = \frac{Q_{\text{С}}}{V_{\text{ОТВ}}} = \frac{477,5}{3600 \cdot 1} = 0,13 \text{ м}^2.$$

11. Число отверстий

$$n_{\text{ОТВ}} = \frac{F_{\text{ОТВ}}}{f_{\text{ОТВ}}} = \frac{0,13}{0,00196} = 66 \text{ шт},$$

где  $f_{\text{ОТВ}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ОТВ}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ м}^2, d_{\text{ОТВ}} = 50 \text{ мм}.$

### 5.3. Перегородчатый смеситель

Применяется на станциях производительностью более 300000 м<sup>3</sup>/сут.

Выполняют в виде каналов с перегородками, обеспечивающими горизонтальное или вертикальное движение воды с поворотами на 180°. Число поворотов принимается равным 5-10. Время пребывания воды в смесителе 1,5-2 мин. Высота смесителя Н определяется с учетом уменьшающейся скорости движения воды в коридорах V<sub>к</sub> от 0,5 до 0,7 м/с:

$$H = \frac{Q_{\text{С}}}{V_{\text{к}} \cdot B} \quad (21),$$

где В – ширина коридора принимается равной не менее 0,7 м.

Полный объем смесителя

$$W = \frac{Q_{\text{С}} \cdot t}{60} \quad (22).$$

Площадь смесителя в плане

$$F = \frac{W}{H} \quad (23).$$

Потери напора в смесителе

$$h = \xi \frac{V_k^2}{2g} \cdot S \quad (24),$$

где  $\xi$  – коэффициент сопротивления, принимаемый равным 2,9;  
 $S$  – число поворотов.

**Пример:** рассчитать перегородчатый смеситель для станций производительностью 300000 м<sup>3</sup>/сут,  $Q_c = 12500$  м<sup>3</sup>/ч.

Полный объем смесителя (2 камеры)

$$W = \frac{12500 \cdot 2}{60} = 416,6 \text{ м}^3.$$

Высота одной камеры

$$H = \frac{12500}{2 \cdot 0,7 \cdot 3600 \cdot 0,7} = 3,5 \text{ м}.$$

Площадь смесителя

$$F = \frac{416,6}{3,5} = 119 \text{ м}^2.$$

Ширина смесителя  $B = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ м}$ .

Длина смесителя

$$L = \frac{119}{7} = 17 \text{ м}.$$

Потери напора в смесителе

$$h = 2,9 \cdot \frac{0,7^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 10 = 0,73 \text{ м.вод.ст.}$$

## 6. КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

Камеры хлопьеобразования предназначены для создания рациональных условий завершения второй стадии процесса коагуляции – хлопьеобразования. Этому процессу способствует плавное перемешивание потока воды в объеме сооружения.

По принципу действия камеры хлопьеобразования делятся на гидравлические и механические (флокуляторы). Из камер гидравлического типа в практике водоподготовки отдают предпочтение водоворотным, перегородчатым, вихревым, со слоем взвешенного осадка. Все типы камер, за исключением перегородчатых, встраивают в отстойники. Для получения достаточно крупных хлопьев необходимо, чтобы вода в них находилась от 6 до 30 мин при обеспечении постоянного плавного перемешивания потока воды.

Конструкция камеры хлопьеобразования выбирается исходя из качества исходной воды и типа отстойника.

### 6.1. Водоворотная камера

Этот тип камеры хлопьеобразования совмещается только с вертикальными отстойниками и располагается в его центральной части (расчет водоворотной камеры, как правило, производится одновременно с расчетом вертикального отстойника).

Вода подается в верхнюю часть камеры через сопла, размещенные в центре в виде неподвижного Сегнерова колеса. Выход воды из сопел со скоростью 2-3 м/с придает ей вращательное движение с одновременным движением сверху вниз. В нижней части камеры, для гашения вращательного движения воды, устанавливается крестообразная деревянная перегородка высотой 0,8-1,0 м с ячейками размером 0,5 x 0,5 м.

Время пребывания в камере принимается 15-20 мин.

Расчет камеры заключается в определении ее геометрических размеров, диаметра подводящего трубопровода, Сегнерова колеса и сопел.

Расход на одну камеру

$$q_{кхо} = \frac{Q}{N}, \quad (25)$$

где  $Q$  – общий расчетный расход на все сооружения, м<sup>3</sup>/ч;  $N$  – число камер, принимаемое равным количеству вертикальных отстойников, шт.

По расходу и времени пребывания воды в камере находим объем камеры

$$W_{кхо} = \frac{q_{кхо} \cdot t}{60}, \quad (26)$$

где  $t$  – время пребывания воды в камере, мин.

Высота камеры назначается равной, как правило, 0,9 от высоты зоны осаждения вертикального отстойника. Зная высоту камеры, можно рассчитать ее площадь

$$F_{кхо} = \frac{W_{кхо}}{H_{кхо}}. \quad (27)$$

В плане вертикальный отстойник может быть устроен как квадратным, так и круглым, следовательно, конфигурация водоворотной камеры также может быть либо квадратной, либо круглой.

При квадратной в плане камеры находим ее сторону

$$B = \sqrt{F_{кхо}}, \quad (28)$$

а круглой в плане находим ее диаметр

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{кхо}}{\pi}}. \quad (29)$$

Диаметр подводящего трубопровода в камеру и сопла Сегнерова колеса находят по расходу и скорости в них, используя уравнение неразрывности потока или таблицы гидравлического расчета напорных трубопроводов Ф.А. Шевелева.

## 6.2. Камера коридорного типа

Камера хлопьеобразования коридорного типа представляет собой прямоугольный железобетонный резервуар с перегородками, образующими коридоры шириной не менее 0,7 м, через которые последовательно проходит вода со скоростью 0,2-0,3 м/с в начале камеры и 0,05-0,1 м/с в конце ее (ско-

рость изменяется за счет увеличения ширины коридоров). Высота камеры принимается 2,0-3,0 м.

Продолжительность пребывания воды в камере принимается 20 мин для мутных вод и 30 мин для цветных с низкой температурой. Время пребывания в камере может изменяться включением и выключением из работы отдельных коридоров.

Удалению осадка с дна камеры способствует уклон дна 0,02-0,03.

Расчет камеры выполняется в следующем порядке:

- рассчитывается расход воды на одну камеру по формуле (25);
- рассчитывается объем камеры по формуле (26);
- определяется площадь камеры в плане

$$F_{кхо} = \frac{W_{кхо}}{H}, \quad (30)$$

где  $H$  – высота камеры, м;

- определяется ширина коридоров в начале и конце камеры по допустимым скоростям

$$B_k = \frac{q}{3600 \cdot V \cdot H_{cp}}, \quad (31)$$

где  $V$  – нормативная скорость движения в начале и в конце камеры (0,2-0,3 м/с; 0,05-0,1 м/с);  $H_{cp}$  – средняя высота камеры, принимаемая равной 2,5 м.

Общая ширина всех коридоров должна соответствовать ширине группы примыкающих горизонтальных отстойников ( $B_{гр.отст.}$ ) принимая среднюю толщину железобетонных стенок между коридорами 0,15 м, находится необходимое число коридоров

$$n = \frac{B_{гр.отст.}}{B_{ср.к.} + 0,15}, \quad (32)$$

где  $B_{ср.к.}$  – средняя ширина коридора (сумма максимальной и минимальной ширины, деленная на два), м.

Длина камеры

$$L = \frac{F_{кхо}}{B_{гр.отст.}}$$

Трубопроводы рассчитываются по нормативным скоростям и расходу в них, используя уравнение неразрывности потока или таблицы гидравлического расчета напорных трубопроводов Ф.А. Шевелева.

### 6.3. Камера хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка

Данный вид камер хлопьеобразования, как правило, размещают непосредственно в начале отстойника. Дно камеры выполняется пирамидальным, а в основании перевернутых пирамид размещают водораспределительные трубы, служащие для равномерного распределения воды по площади камеры. В водораспределительных трубах выполняют отверстия под углом  $45^\circ$  к нижней образующей. Скорость движения в трубах принимается 0,5-0,6 м/с,

площадь отверстий составляет 30-40 % площади поперечного сечения самих труб.

Водораспределительные трубы располагают таким образом, чтобы расстояние между ними составляло 2 м, а от стен камеры – 1 м.

Объем камеры определяется по времени пребывания воды в ней не менее 20 мин. Площадь камеры определяется по скорости восходящего потока, равной 0,65-1,6 мм/с для вод средней мутности и 0,08-2,2 мм/с – для мутных вод, при которой образуется и поддерживается во взвешенной состоянии слой осадка.

Отвод воды из камеры производится через затопленную стенку.

Расчет камеры выполняется в следующем порядке:

- определяется площадь камеры в плане

$$\sum F_{кхo} = \frac{Q_{cym}}{3600 \cdot 24 \cdot V}, \quad (33)$$

где  $V$  – скорость восходящего потока, м/с;

- определяется площадь одной камеры при условии, что число камер принимается равным по числу горизонтальных отстойников

$$F_{кхo} = \frac{\sum F_{кхo}}{N}, \quad (34)$$

где  $N$  – число горизонтальных отстойников, шт.;

- рассчитывается длина камеры

$$L = \frac{F_{кхo}}{B_k}, \quad (35)$$

где  $B_k$  – ширина камеры, м, принимаемая равной ширине отстойника;

- рассчитывается высота камеры

$$H_{кхo} = h_{з.о.} + h_{п.} + h_{с.з.}, \quad (36)$$

где  $h_{з.о.}$  – высота зоны осаждения;  $h_{п.}$  – потери напора в камере, принимаемые равными 0,1 м.вод.ст.;  $h_{с.з.}$  – высота строительного запаса, м, принимаемая равной 0,3-0,4 м;

- проверяется время пребывания воды в камере

$$t = \frac{H_{кхo}}{60 \cdot V}; \quad (37)$$

- определяется расход воды на каждую камеру

$$q_{кхo} = \frac{1000 \cdot Q_{ч}}{3600 \cdot N}; \quad (38)$$

- рассчитывается расход воды на каждую распределительную дырчатую трубу в камере:

$$q_{тр} = \frac{q_{кхo}}{n} \quad (39),$$

где  $n$  – количество дырчатых труб в камере;

- определяется расстояние от верха водосливной стенки до уровня воды

$$h_B = \frac{q_{кхo}}{V_B \cdot B_K}, \quad (40)$$

где  $V_B$  – скорость движения воды через водослив, принимаемая 0,05 м/с.

По расходу  $q_{TP}$  и скорости в трубе ( $V_{TP}$ ), принимаемой равной 0,5 м/с, по таблицам гидравлического расчета напорных трубопроводов рассчитывается суммарная площадь отверстий в трубе

$$\omega = \frac{q_{TP}}{V_{TP}}. \quad (41)$$

Задаваясь диаметром отверстий ( $d_{отв}$ ) в пределах 15-25 мм определяется площадь одного отверстия, а затем и число отверстий

$$n_{отв} = \frac{\omega}{\pi d_{отв}^2 / 4}. \quad (42)$$

**Пример:** рассчитать камеру при  $Q_{сyt}=34800$  м<sup>3</sup>/сут или 1450 м<sup>3</sup>/ч, мутность исходной воды равна 700 мг/л; скорость восходящего потока  $V=2$  мм/с (0,002 м/с); время пребывания  $t \geq 20$  мин.

Площадь (в плане) всех камер хлопьеобразования

$$\sum F_{кxo} = \frac{Q_{сyt}}{3600 \cdot 24 \cdot V} = \frac{34800}{3600 \cdot 24 \cdot 0,002} = 201,4 \text{ м}^2,$$

Число камер принимается по числу горизонтальных отстойников (принимается четыре), тогда площадь одной камеры

$$F_{кxo} = \frac{201,4}{4} = 50,3 \text{ м}^2.$$

Ширина отстойника равна ширине камеры ( $B_k = 5,8$  м), тогда длина ее

$$L = \frac{50,3}{5,8} \approx 8,7 \text{ м}.$$

Высота камеры

$$H_{кxo} = 3,5 + 0,1 + 0,4 = 4,0 \text{ м}.$$

Проверим время пребывания воды в камере

$$t = \frac{H_{кxo}}{60 \cdot V} = \frac{4,0}{60 \cdot 0,002} = 33 \text{ мин}.$$

Расход воды на каждую камеру

$$q_{кxo} = \frac{1000 \cdot Q_{сyt}}{3600 \cdot 4} = \frac{1000 \cdot 1450}{3600 \cdot 4} = 100,7 \text{ л/с}.$$

Распределение воды в камере производится дырчатыми трубами, следовательно,

$$q_{TP} = \frac{q_{кxo}}{n} = \frac{100,7}{2} = 50,4 \text{ л/с}.$$

По найденному расходу и скорости в трубе ( $V_{TP} = 0,5$  м/с) из таблиц Шевелева находим суммарную площадь отверстий по формуле  $\omega = \frac{q_{TP}}{V_{TP}}$ .

Диаметр отверстий в пределах 15-25 мм, находим площадь одного отверстия.

Верх водосливной стенки размещается под уровень воды на величину

$$h_B = \frac{q_{кxo}}{V_B \cdot B_k} = \frac{0,1007}{0,05 \cdot 5,8} = 0,35 \text{ м},$$

где  $V_B$  – скорость движения воды через водослив, принимается 0,05 м/с.

#### 6.4. Вихревая камера хлопьеобразования

Камера хлопьеобразования выполняется в виде железобетонного конического или пирамидального резервуара с углом конусности 50-70°, обращенного вершиной вниз, встраиваемой в отстойник или пристраиваемой к нему.

Вода после смесителей подается в нижнюю часть камеры со скоростью 0,7-1,2 м/с. В конической части создается вихревое движение воды, благодаря которому процесс хлопьеобразования заканчивается в 2-3 раза быстрее, чем в других камерах.

Расчет камеры выполняется в следующем порядке:

- рассчитывается объем камеры

$$W_{кхо} = \frac{q_k \cdot t}{60}; \quad (43)$$

- определяется площадь верхней прямоугольной части камеры

$$F_{кхо} = \frac{q_k}{V_B}, \quad (44)$$

где  $V_B$  – скорость движения воды в верхней части камеры, принимаемая равной 4-5 мм/с или 14,4-18 м/ч.

Длина камеры ( $L_k$ ) принимается равной ширине горизонтального отстойника ( $B_{отс}$ ):

- определяется ширина ( $B_k$ ) камеры в верхней части:

$$B_k = \frac{F_B}{B_{отс}}; \quad (45)$$

- рассчитывается высота конической части

$$h_k = \left( \frac{B_k - d_H}{2} \right) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (46)$$

где  $d_H$  – ширина нижней части камеры, численно равная диаметру подающего трубопровода, м;  $\alpha$  – угол между наклонными стенками.

- определяется объем конической части

$$W_k = \frac{(B_k + d_H) \cdot h_k \cdot L_k}{2}; \quad (47)$$

- рассчитывается объем прямоугольной части

$$W_B = W_{кхо} - W_k; \quad (48)$$

- определяется высота прямоугольной части камеры

$$h_{п} = \frac{W_B}{L_k B_k}; \quad (49)$$

- вычисляется общая высота камеры

$$H_{кхо} = h_k + h_n + h_{с.з.}, \quad (50)$$

где  $h_{с.з.}$  – строительный запас, принимаемый равным 0,3-0,4 м;

- определяется количество желобов в верхней части камеры из условия максимального расстояния в осях между ними 2,2 м, округляя полученный результат к ближайшему большему целому числу

$$n = \frac{B_K}{2,2}; \quad (51)$$

- рассчитывается расход воды, приходящийся на один желоб камеры

$$q_{Ж} = \frac{q_K}{n}. \quad (52).$$

Вода в желоб поступает через боковые отверстия диаметром от 25 до 50 мм, обеспечивая скорость ( $V_{отв}$ ) не более 0,1 м/с для мутных вод и 0,05 м/с для цветных вод. При этом следует учитывать, что отверстия выполняются по двум сторонам желоба разделив расход на два.

$$n_{отв} = \frac{q_{жс}}{V_{отв} \cdot 2 \cdot f_{отв}}; \quad (53)$$

- задаваясь скоростью движения воды в желобе ( $V_{ж}$ ) не более 0,1 м/с для мутных вод и 0,05 м/с для цветных вод, рассчитывается площадь поперечного сечения желоба

$$f_{ж} = \frac{q_{жс}}{V_{ж}}, \quad (54)$$

а затем принимая ширину желоба определяется его глубина.

**Пример:** рассчитать вихревую камеру  $q_K=216\text{м}^3/\text{ч}$  (60,0 л/с);  $V_H = 0,7-1,2$  м/с;  $V_B= 4-5$  мм/с;  $t= 6-12$  мин.

Объем

$$W_{КХО} = \frac{q_K \cdot t}{60} = \frac{216 \cdot 8}{60} = 29,0\text{м}^3.$$

Площадь верхней прямоугольной части

$$F_{КХО} = \frac{q_K}{V_B} = \frac{216}{18} = 12\text{м}^2,$$

Длину камеры принимаем равной ширине горизонтального отстойника ( $B_{отс} = 5,8$  м между стенками).

Зная ширину отстойника, можно найти ширину ( $B_K$ ) камеры в верхней части:

$$B_K = \frac{F_B}{B_{отс}} = \frac{12}{5,6} = 2,1\text{м}.$$

Высота конической части

$$h_K = \left( \frac{B_K - d_H}{2} \right) \text{ctg} \frac{\alpha}{2} = 1,6\text{м},$$

$$d_H = \sqrt{\frac{4 \cdot q_K}{\pi \cdot V}} \approx 320\text{мм},$$

Объем конической части

$$W_K = \frac{(B_K + d_H) \cdot h_K \cdot L_K}{2} = \frac{(2,1 + 0,32) \cdot 1,6 \cdot 5,8}{2} = 11,23\text{ м}^3.$$

Объем прямоугольной (верхней) части

$$W_B = 29,0 - 11,23 = 17,77\text{ м}^3.$$

Высота прямоугольной части камеры

$$h_{\Pi} = \frac{17,77}{12,0} = 1,48 \text{ м.}$$

Общая высота камеры

$$H_{\text{кхо}} = 1,6 + 1,48 + 0,4 = 3,48 \text{ м.}$$

При  $V_{\text{к}}=5,8$  м количество желобов

$$n = \frac{5,8}{2,2} = 3 \text{ желоба.}$$

В этой случае расход на желоб

$$q_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{к}}}{n} = \frac{216}{3} = 72 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Поступление воды в желоба предусматривается через боковые отверстия  $d=30$  мм ( $f=0,0007 \text{ м}^2$ ). Число отверстий на каждой стороне желоба при скорости входа воды  $0,1$  м/с, будет  $\frac{72}{0,1 \cdot 2 \cdot 0,0007} = 144 \text{ отв.}$

Поперечное сечение желоба при скорости в нем  $0,1$  м/с:

$$f_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{ж}}}{V_{\text{ж}}} = \frac{72}{3600 \cdot 0,1} = 0,2 \text{ м}^2.$$

Принимая ширину желоба  $0,4$  м, получаем глубину его  $\frac{0,2}{0,4} = 0,5 \text{ м.}$

### 6.5. Механические камеры (флокуляторы)

В этих камерах хлопьеобразования перемешивание воды осуществляется лопастными или пропеллерными мешалками. Оси мешалок устанавливаются вертикально или горизонтально, причем мешалка может иметь одну или несколько лопастей. Флокуляторы рассчитывают на пребывание в них воды в течение 30-60 мин, движущейся со скоростью  $0,2-0,5$  м/с.

Расчет камеры выполняется в следующем порядке:

- рассчитывается общий объем камер по формуле (43);
- исходя из количества горизонтальных отстойников, рассчитывается объем одной камеры

$$W_{\text{к}}^1 = \frac{W_{\text{к}}}{n_{\text{отст}}}; \quad (55)$$

- принимаем ширину каждой камеры, равную ширине отстойника или секции отстойников;

- определяется длина камеры

$$L \geq \beta \cdot Z \cdot H \quad \text{и} \quad L = \frac{W_{\text{к}}^1}{B_{\text{к}} \cdot H}, \quad (56)$$

где  $\beta$  – эмпирический коэффициент, принимается равным  $1-1,5$ ;  $Z$  – количество мешалок (обычно  $Z=2-4$ );  $H$  – глубина камеры, принимаемая равной глубине отстойника, м;

- рассчитывается средняя горизонтальная скорость прохода воды через камеру:

$$V_{\text{сп}} = \frac{1000 \cdot L}{60 \cdot t}. \quad (57)$$

**Пример:** рассчитать лопастную камеру хлопьеобразования для станции с  $Q = 40000 \text{ м}^3/\text{сут}$  ( $1667 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Общий объем камер (флокулятора)

$$W_K = \frac{Q \cdot t}{60} = \frac{1667 \cdot 30}{60} = 833 \text{ м}^3,$$

где  $t$  – время пребывания воды, принятое равным 30 мин.

Принимаем камеры на четыре отстойника, тогда объем одной камеры

$$W_K^1 = \frac{W_K}{4} = \frac{833}{4} \approx 208 \text{ м}^3.$$

Ширина камеры принимается равной ширине горизонтального отстойника – 5,8 м.

Длина камеры при глубине (Н) равная 3,6 м

$$L \geq 1,5 \cdot 2 \cdot 3,6 = 11 \text{ м} \text{ и } L = \frac{208}{5,8 \cdot 3,6} = 9,961 \text{ м}.$$

Принимаем для дальнейшего расчета большее значение длины камеры – 11,0 м.

Средняя расчетная горизонтальная скорость прохода воды через камеры:

$$V_{cp} = \frac{1000 \cdot L}{60 \cdot t} = \frac{1000 \cdot 11,0}{60 \cdot 30} \approx 6 \text{ мм/с}.$$

## 7. ОТСТОЙНИКИ

### 7.1. Вертикальные отстойники

Вертикальные отстойники входят в схему реагентной очистки воды при производительности водоочистной станции, не превышающей  $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$  и мутность исходной воды не более  $1500 \text{ мг/л}$ .

Площадь живого сечения вертикального отстойника включает в себя площади вихревой камеры хлопьеобразования и площадь зоны осаждения

$$F_{отст} = F_{КХО} + F_{з.о.} \quad (58)$$

Площадь водоворотной камеры хлопьеобразования и иные ее параметры определяются по ранее представленным в соответствующем разделе формулам.

Расчетная площадь зоны осаждения должна соответствовать наибольшему значению:

$$F_{з.о.} = \frac{\beta \cdot q_{ч}}{3,6 \cdot V_p \cdot N}, \quad (59)$$

где  $q_{ч}$  – расчетный расход,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $V_p$  – расчетная скорость восходящего потока,  $\text{мм/с}$ , принимается по табл. 18 с учетом п.6.56 [3];  $N$  – количество рабочих отстойников, шт;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий объемное использование отстойника, величина которого принимается 1,3-1,5 (нижний предел при отношении диаметра к высоте - 1,5).

При количестве отстойников менее шести следует принимать один резервный (п.6.63 [3]).

Площадь зоны осаждения вычисляют по формуле (59) для двух периодов:

- минимальной мутности при минимальном зимнем расходе воды;
- наибольшей мутности при наибольшем расходе воды, соответствующем этому периоду.

Высота зоны осаждения отстойника принимается в зависимости от высотной схемы станции (обычно 3-5 м). Отношение диаметра вертикального отстойника к высоте зоны осаждения должно находиться в пределах 1-1,5.

Зона накопления и уплотнения осадка устраивается с наклонными стенками, с углом между ними 70-80°.

Сброс осадка производится без выключения отстойников под гидростатическим напором и за счет наклона стенок отстойника в цилиндрической (пирамидальной) части. Сбор осветленной воды в вертикальных отстойниках следует предусматривать периферийными и радиальными желобами с отверстиями или треугольными вырезами.

Сечение желобов следует рассчитывать на скорость движения воды 0,5-0,6 м/с.

**Пример:** рассчитать вертикальный отстойник с расчетной производительностью 104 м<sup>3</sup>/ч, концентрация взвешенных веществ в исходной воде, поступающей на отстойник: в летний период  $C_{в.мах.} = 377$  мг/л, в зимний период  $C_{в.зим.} = 50$  мг/л; коэффициент снижения расхода в зимний период - 0,75; коэффициент  $\beta - 1,5$ .

Площадь зоны осаждения отстойника определяется для двух периодов:

- летний период при  $V_p$  равной 0,5 мм/с, что соответствует значению концентрации взвешенных веществ  $C_{в.мах.} = 377$  мг/л, а с учетом обработки воды флокулянтном ПАА  $V_p = 1,3 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,65$  мм/с.

$$F_{з.о.} = 1,5 \cdot 104 / 3,6 \cdot 0,65 \cdot 1 = 66,6 \text{ м}^2;$$

- зимний период при  $V_p$  равной 0,45 мм/с, что соответствует значению концентрации взвешенных веществ  $C_{в.зим.} = 50$  мг/л с учетом обработки воды флокулянтном ПАА  $V_p = 1,3 \cdot 0,45 = 0,585$  мм/с.

$$F_{з.о.} = 1,5 \cdot 0,75 \cdot \frac{104}{3,6 \cdot 0,585 \cdot 1} = 55,56 \text{ м}^2.$$

Принимаем для расчета площадь зоны осаждения, необходимую в летний период – 66,6 м<sup>2</sup>.

Площадь водоворотной камеры хлопьеобразования

$$F_{кхо} = 104 \cdot 15 / 60 \cdot 3,5 \cdot 1 = 7,43 \text{ м}^2.$$

Площадь живого сечения вертикального отстойника

$$F_{омст} = 66,6 + 7,43 = 74,03 \text{ м}^2.$$

Диаметр отстойника:  $D = \sqrt{\frac{4F_{омст}}{\pi}}, \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot 74,03}{3,14}} = 9,7 \text{ м}.$

Объем зоны осаждения рассчитывается по времени обработки воды, принимаемой равной 2,5 ч

$$W_{з.о.} = q \cdot t = 104 \cdot 2,5 = 260 \text{ м}^3.$$

Высота зоны осаждения

$$H_{з.о.} = \frac{260}{74,03} + 0,3 = 3,81 \text{ м.}$$

Зона накопления осадка устраивается с наклонными стенками с углом  $80^\circ$  между ними. В нижней части к ней примыкает сбросной трубопровод и диаметр этой части принимается конструктивно 0,4 м.

Высота зоны накопления осадка:

$$H_{з.н.} = (D - 0,4) / 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{80^\circ}{2} = (9,7 - 0,4) / 2 \cdot \operatorname{tg} 40^\circ = 5,54 \text{ м.}$$

Общая высота отстойника:

$$H_o = H_{з.о.} + H_{з.н.} + h_{с.з.} = 3,81 + 5,54 + 0,5 = 9,85 \text{ м.}$$

Все остальные элементы вертикального отстойника – сборные желоба, диаметр трубопроводов определяются так же, как для аналогичных сооружений.

## 7.2. Горизонтальные отстойники

Применяются, если производительность водоочистой станции – более 30000 (35000)  $\text{м}^3/\text{сут}$ .

Горизонтальные отстойники следует проектировать с рассредоточенным сбором воды, расчет отстойников следует производить для двух периодов согласно п.6.63 [3]:

- минимальной мутности при минимальном зимнем расходе воды;
- наибольшей мутности при наибольшем расходе воды, соответствующем этому периоду.

Расчетная площадь зоны осаждения, определенная по формуле [3], должна соответствовать наибольшему значению:

$$F_{г.о.} = \frac{\alpha_{об} \cdot q}{3,6 \cdot U_o}, \quad (60)$$

где  $q$  – расчетный расход воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , принимаемый согласно п.6.63 [3];  $U_o$  – скорость выпадения взвеси,  $\text{мм}/\text{с}$ , принимаемая по табл. 18 [3];  $\alpha_{об}$  – коэффициент объемного использования отстойников, принимаемый равным 1,3.

При установке в зоне осаждения тонкослойных блоков площадь отстойника следует определять:

$$F_{г.о.} = \frac{q}{q_{уд}}, \quad (61)$$

где  $q_{уд}$  – удельная нагрузка, отнесенная к площади зеркала воды, занятой блоками, принимается.

Длину одного отстойника определяют по формуле [3]:

$$L = \frac{H_{CP} \cdot V_{CP}}{U_0}, \quad (62)$$

где  $H_{CP}$  – средняя высота зоны осаждения, принимаемая равной 3-3,5 м в зависимости от высотной схемы станции;  $V_{CP}$  – расчетная скорость горизонтального движения воды в начале отстойника, принимаемая равной 6-8, 7-10, 9-12 мм/с соответственно для вод маломутных, средней мутности и мутных.

Ширина отстойника принимается кратной строительной сетке – 3,0; 6,0 м.

Количество отстойников

$$N = \frac{F_{Г.О.}}{B \cdot L}. \quad (63)$$

При этом должно выполняться условие:  $\frac{L}{H} = 10 - 25$ . Если полученное расчетом число отстойников меньше шести, принимается один резервный.

Для рассредоточенного сбора воды следует предусматривать систему горизонтально расположенных дырчатых труб или желобов с затопленными отверстиями или треугольными водосливами. Желоба и трубы устраивают на  $1/3 - 2/3$  длины отстойника, считая от задней торцевой стенки.

Объем зоны накопления осадка определяется из формулы [3]:

$$W_{OC.Ч} = \frac{q \cdot (C_B - M_{OCB}) \cdot T_P}{N \cdot \delta}, \quad (64)$$

где  $q$  – часовой расход, м<sup>3</sup>/ч;  $C_B$  – концентрация взвешенных веществ в воде, г/м<sup>3</sup>, поступающей в отстойник;  $M_{OCB}$  – мутность воды, выходящей из отстойника, г/м<sup>3</sup>, принимают от 8 до 15 г/м<sup>3</sup>;  $T_P$  – период работы отстойника между чистками (не менее 12 ч. п.6.69 [3]);  $\delta$  – средняя по высоте осадочной части концентрация твердой фазы осадка, принимаемая по данным табл. 19, г/м<sup>3</sup> [3].

Расход воды при чистке горизонтального отстойника

$$P_{ч.О.} = \frac{K_P \cdot W_{OC.Ч}}{q \cdot t}, \quad (65)$$

где  $K_P$  – коэффициент разбавления осадка, принимаемый 1,5 – при гидравлическом удалении осадка; 1,2 – при механическом удалении осадка; 2-3 – при напорном смыве осадка.

Осадок из отстойника может удаляться гидравлическим методом за счет гидростатического давления воды в отстойнике или напорной системой смыва осадка.

### 7.2.1. Гидравлический метод удаления осадка

Для отстойников с гидравлическим способом удаления осадка следует предусматривать сборную систему из перфорированных труб или каналов, обеспечивающую удаление осадка в пределах 50-60 %. Расход воды, удаленной через сборные дырчатые трубы или каналы системы удаления осадка

$$q_{oc} = \frac{K_p \cdot W_{oc.ч.}}{t}, \quad (66)$$

где  $t$  – продолжительность удаления осадка, мин, принимается 20-40 мин.

Дно отстойников между каналами или трубами сборной системы осадка принимается горизонтальным или призматическим с углом наклона граней  $45^\circ$ . Расстояние между осями каналов или труб следует принимать не более 3 м при призматическом днище и 2 м при горизонтальном.

Скорость движения осадка в конце каналов и труб следует принимать не менее 1 м/с, в отверстиях - 1,5 м/с; диаметр отверстий – не менее 25 мм, расстояние между осями отверстий – в пределах 300-500 мм.

Отношение суммарной площади отверстий к площади сечения каналов или труб в конце (коэффициент перфорации) надлежит принимать равным 0,7 при степени удаления осадка 50 % и 0,5 – при 60 %.

### 7.2.2. Напорная система удаления осадка

Напорные коллекторы для смыва осадка следует принимать телескопической формы диаметром 100 - 400 мм. Диаметр насадок – 10-15 мм, расстояние между ними – 1 м. Насадки, обращенные к оси отстойника, располагаются на коллекторах под углом  $45^\circ$  к направлению промывного потока, а обращенные к стенкам – под углом  $75^\circ$ . Оси насадок с одной стороны коллектора должны быть направлены к оси днища, а с другой – к линии пересечения стен и днища отстойника.

Размывающая скорость

$$U_p = \sqrt{\frac{\tau_s \cdot g}{\rho}}, \quad (67)$$

где  $\tau_s$  – сопротивление осадка сдвигу,  $\tau_s=12-15$  кг/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Средняя скорость струи на выходе из насадка

$$U_o = \sqrt{\frac{\tau_s}{\rho} \left( \frac{S_k}{m \cdot d_o} + 1 \right)}, \quad (68)$$

где  $S_k$  – длина струи при выходе из насадки, принимаем равной диаметру насадки;  $m$  – коэффициент, характеризующий сопротивляемость струи  $m=2,9$ .

Диаметр струи, где средняя скорость ее равна размывающей скорости осадка

$$d_{CT} = d_o \frac{U_o}{U_p}. \quad (69)$$

Ширина струи по оси отстойника

$$l_{CT} = \frac{d_{CT}}{\sin \alpha}, \quad (70)$$

где  $\alpha$  – угол наклона насадки.

Расстояние между насадками принимаем равным (или несколько меньше) ширины струи по оси отстойника.

Напор перед диктующей (первой) насадкой

$$H_o = \frac{U_o^2}{2 \cdot g \cdot \phi^2}, \quad (71)$$

где  $\phi$  – коэффициент скорости струи.

Расход через первую диктующую насадку

$$q_o = A \sqrt{H_o}, \quad (72)$$

где  $A$  – расходная характеристика насадки равная:

$$A = \mu \cdot \omega_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}, \quad (73)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;  $\omega_o$  – площадь поперечного сечения струи на выходе из насадки, принимается равной площади выходного сечения насадки.

Общий расход воды

$$q_{об} = 3,6 \cdot n \cdot q_o. \quad (74)$$

Для определения диаметров коллектора, уточненного расхода воды и потерь капора в системе разбиваем всю систему на участки и производим расчет системы с переменным по пути расходом.

**Пример:** рассчитать горизонтальные отстойники при  $q = 1783 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $M_{\min} = 100 \text{ мг/л}$ ,  $M_{\max} = 386 \text{ мг/л}$ . Коэффициент снижения расхода в зимний период - 0,75.

1. Площадь горизонтальных отстойников определяется по формуле [3]:

а) для минимальной мутности и минимальном зимнем расходе:

$$F_{г.о.} = 1,3 \cdot 0,75 \cdot 1783 / 3,6 \cdot 0,35 \cdot 1,2 = 1149,7 \text{ м}^2;$$

б) для наибольшей мутности при наибольшем расходе воды:

$$F_{г.о.} = 1,3 \cdot 1783 / 3,6 \cdot 0,5 \cdot 1,2 = 1073,1 \text{ м}^2.$$

За расчетную принимаем большую площадь – 1149,7 м<sup>2</sup>.

2. Длина отстойника определяется по формуле (14) [3]:

$$L = 3 \cdot 10 / 0,6 = 50 \text{ м}.$$

3. Количество отстойников

$$N = \frac{F_{г.о.}}{L \cdot B} = \frac{1149,7}{50 \cdot 5,8} = 3,96 \text{ шт}.$$

Принимаем в дальнейших расчетах 4 рабочих отстойника и один резервный.

4. Уточненная длина отстойника:

$$L_{\text{ФАКТ}} = \frac{F_{г.о.}}{N \cdot B} = \frac{1149,7}{4 \cdot 5,8} = 49,5 \text{ м}.$$

5. Расчет системы рассредоточенного сбора воды.

При ширине отстойника в чистоте 5,8 м принимается к установке 2 желоба (расстояние между осями желоба - не более 3 м - п.6.75 [3]).

Расход на один желоб:

$$q_{\text{ж}} = \frac{q}{N \cdot n_{\text{ж}}} = \frac{1783}{4 \cdot 2} = 222,8 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Площадь сечения желоба определяется по скорости движения осветленной воды в конце 0,6-0,8 м/с:

$$\omega_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{ж}}}{3600 \cdot V_{\text{ж}}} = \frac{222,8}{3600 \cdot 0,7} = 0,088 \text{ м}^2.$$

Рекомендуемое соотношение ширины желоба к его высоте 1,5:1, тогда:

$$\omega_{\text{ж}} = 1,5x \cdot 1x, \text{ откуда } x = \sqrt{\omega_{\text{ж}} / 1,5} = 0,23 \text{ м}, B_{\text{ж}} = 1,5x = 0,376 \text{ м}, H_{\text{ж}} = x = 0,23 \text{ м}.$$

Площадь всех отверстий  $\Sigma \omega_{\text{от}}$  на одном желобе при скорости движения воды в отверстиях – 1 м/с:

$$\Sigma \omega_{\text{от}} = \frac{q_{\text{ж}}}{3600 \cdot V_{\text{отв}}} = \frac{222,8}{3600 \cdot 1,0} = 0,0618 \text{ м}^2.$$

Диаметр отверстий назначаем 25 мм, с площадью 0,00049 м<sup>2</sup>.

Количество отверстий:

$$N_{\text{отв}} = \frac{\Sigma \omega_{\text{отв}}}{\omega_{\text{отв}}} = \frac{0,0618}{0,00049} = 126 \text{ шт.}$$

Шаг отверстий при расположении их с обеих сторон желоба и длине желоба, равной 2/3 длины отстойника:

$$l = 2 / 3L \cdot 2 / n_{\text{отв}} = 2 / 3 \cdot 49,5 \cdot 2 / 126 = 0,52 \text{ м}.$$

**Пример:** рассчитать горизонтальный отстойник с тонкослойными блоками.

1. Площадь горизонтальных отстойников определяется согласно п.6.54 [2]:

а) для минимальной мутности и минимальном зимнем расходе ( $q_{\text{зим}} = 0,75 q$ ,  $M_{\text{мин}} = 100 \text{ мг/л}$ ):

$$F_{\text{г.о.}} = 0,75 \cdot 1783 / 3,5 = 382,1 \text{ м}^2;$$

б) для наибольшей мутности при наибольшем расходе воды:

$$F_{\text{г.о.}} = 1783 / 4,6 = 387,6 \text{ м}^2.$$

За расчетную площадь отстойников принимаем большую - 387,6 м<sup>2</sup>.

Расчет остальных элементов отстойников с тонкослойными блоками проводится аналогично расчету обычных горизонтальных отстойников (без блоков).

*Примечание.* При расчете сборной системы длину каналов или труб следует принимать равной длине отстойника.

**Пример:** определить параметры напорной системы удаления осадка в отстойнике: длина - 48 м, ширина - 6 м в осях, уклон дна - 0,5 % в сторону удаления осадка, максимальная толщина слоя осадка - 2 м, сопротивление осадка сдвигу в пределах 1,2-1,5 г/см<sup>2</sup>. Принимаем два коллектора с расстоянием между ними 3 м (осях).

Размывающая скорость

$$U_p = \sqrt{\frac{15 \cdot 9,8}{1000}} = 0,38 \text{ м/с.}$$

Для выбранного расположения коллекторов и насадок, как это видно из расчетной схемы, минимальное распределение струи должно составлять 2,1.

При этом средняя скорость струи на выходе из насадки

$$U_o = U_p \cdot \left( \frac{S_k}{m \cdot d_o} + 1 \right) = \left( \frac{2,1}{2,9 \cdot 0,01} + 1 \right) = 23 \text{ м/с.}$$

Диаметр струи, где средняя скорость ее равна размывающей скорости осадка

$$d_{CT} = 0,01 \cdot \frac{23}{0,38} = 0,73 \text{ м.}$$

Ширина струи по оси отстойника

$$l_{CT} = \frac{0,73}{\sin 45^\circ} = 1,04 \text{ м.}$$

Расстояние между насадками по длине коллектора принимаем равным (или несколько меньше) ширине струи по оси отстойника, которая в нашем случае 1,04 м. Принимаем  $l_{CT} = 1,04 \text{ м.}$

Определяем напор перед диктующей (первой) насадкой

$$H_o = \frac{23^2}{2 \cdot 10 \cdot 0,049^2} = 30 \text{ м.}$$

Расход через диктующую насадку

$$q_o = 0,937 \cdot 0,000113 \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 30} = 2,58 \text{ л/с.}$$

так как количество насадок в системе равно 210 шт., то общий расход воды

$$q_{об} = 3,6 \cdot 200 \cdot 2,58 = 1950 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Для определения диаметров коллектора, уточненного расхода воды и потерь напора в системе разбиваем всю систему на участки и проводим расчет как системы с переменным расходом.

В соответствии с расчетом, необходимый напор для работы системы равен 30 м и расход - 1950 м<sup>3</sup>/ч.

Время, затраченное на промывку, принимается не более 30 мин.

## 8. ОСВЕТИТЕЛИ СО СЛОЕМ ВЗВЕШЕННОГО ОСАДКА

Осветители со слоем взвешенного осадка, согласно нормативным документам применяются при реагентной обработке на водоочистных станциях производительностью более 5 000 м<sup>3</sup>/сут., для осветления и обесцвечивания природных вод мутностью до 1500 мг/дм<sup>3</sup>.

Площадь всех осветителей равна сумме двух площадей

$$F = F_{осв.} + F_{отд.}, \quad (75)$$

где  $F_{осв.}$  – площадь зоны осветления определяется по формуле [3]

$$F_{осв.} = \frac{K_{p.в.} \cdot Q_{ч}}{3,6 \cdot V_{осв.}}, \quad (76)$$

$F_{отд.}$  – площадь зоны отделения осадка определяется по формуле [3]

$$F_{отд.} = \frac{(1 - K_{p.в.}) \cdot Q_{ч}}{3,6 \cdot V_{осв.}}, \quad (77)$$

где  $K_{p.в.}$  – коэффициент распределения воды между зоной осветления и осадкоуплотнителем, принимается по табл. 13 [2];  $V_{осв.}$  – скорость восходящего потока в зоне осветлителя принимается по табл. 13 [2].

Площадь осветлителя рассчитывают дважды: для летнего периода, когда расход воды и мутность максимальны, и зимнего периода, когда расход воды и мутность минимальны (расход воды зимой принимается  $0,75 \cdot Q_{летнего}$ , минимальная мутность в зимний период, согласно заданию). За расчетную принимают большую из полученных величин.

Количество осветлителей назначается исходя из площади одного осветлителя не более  $100 \div 150 \text{ м}^2$ . При количестве осветлителей менее шести принимается один резервный:

$$N_{осв} = \frac{F}{F_{осв.тип.}}. \quad (78)$$

Высота осветлителя определяется согласно указаниям п.6.79 [3]:

$$H_{осв} = h_{з.о.} + h_{верт.} + h_{пир.} + h_{с.з.}, \quad (79)$$

где  $h_{з.о.}$  – высота зоны осветления, принимается  $2,0 \div 2,5 \text{ м}$  (п.9.64 [2]), большее значение относится для цветных вод; меньшее – для мутных;  $h_{верт.}$  – расстояние от верхней границы слоя взвешенного осадка до сечения, где вертикальные стенки переходят в наклонные, принимается  $1,0 \div 1,5 \text{ м}$ ;  $h_{пир.}$  – высота сужающейся части, определяемая, исходя из величины угла наклона стенок  $\alpha$

$$h_{пир.} = \frac{B_{кор.} - B}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (80)$$

где  $B_{кор.}$  – ширина коридора, м;  $B$  – ширина по низу пирамидальной части коридора, м, принимаемая равной диаметру подводящего трубопровода;  $\alpha$  – центральный угол между наклонными стенками  $60\text{-}70^\circ$ , принимаемый по п.9.64 [2];  $h_{с.з.}$  – строительная высота борта осветлителя, принимаемая равной  $0,3 \text{ м}$  [2].

Высота взвешенного слоя осадка должна быть в пределах  $2,0 \div 2,5 \text{ м}$  (п.9.64 [2])

$$H_{вз.о.} = h_{верт.} + Y_1, \quad (81)$$

где  $Y_1$  – высота взвешенного слоя в пределах наклонных стенок осветлителя, принимается равной половине высоты пирамидальной части, м.

При расчете воздухоотделителя скорость движения воды в подводящем трубопроводе принимается в пределах  $0,8\text{-}1,0 \text{ м/с}$ . Объем воздухоотделителя рассчитывается по продолжительности пребывания воды не менее 1 мин, а площадь по скорости движения воды не более  $0,05 \text{ м/с}$ . Высота слоя должна быть не менее  $0,7 \text{ м}$ . Верх трубы, подводящей воду в воздухоотдели-

тель, располагается на 0,1 м ниже поверхности воды в осветлителе.

Скорость движения воды в подводящих трубах из воздухоотделителя к распределительным трубам рабочих коридоров осветлителя следует принимать 0,6–0,7 м/с. Распределение воды по площади освещения принимается телескопическими дырчатыми трубами, укладываемыми на расстоянии не более 3 м друг от друга. Скорость движения воды при входе в распределительные трубы должна быть 0,5÷0,6 м/с, скорость выхода из отверстий дырчатых труб - 1,5÷2 м/с. Диаметр отверстий не менее 25 мм, расстояние между отверстиями не более 0,5 м, отверстия надлежит располагать вниз под углом 45° к вертикали по обе стороны трубы в шахматном порядке. (п.9.68 [2]).

Сбор осветленной воды в зоне освещения осуществляется желобами с треугольными водосливами высотой 40 - 60 мм при расстоянии между осями водосливов - 100 - 150 мм и угле между кромками водослива 60°. Расчетная скорость движения воды в желобах 0,5 - 0,6 м/с (п. 9.69 [2]). Тогда площадь поперечного сечения желоба:

$$q_{жс} = \frac{K_{п.в.} \cdot Q_u}{3,6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot N}, \quad (82)$$

где  $N$  – количество осветлителей, шт.

Суммарная площадь отверстий в каждом желобе рассчитывается исходя из расхода по желобу и скорости входа в отверстия около 1 м/с, задаваясь диаметром их 20–30 мм.

Расход воды, поступающей вместе с избыточным осадком в осадкоуплотнитель из одного коридора через осадкоприемные окна

$$q_{ок} = \frac{(1 - K_{п.в.}) \cdot Q_u}{3,6 \cdot 2 \cdot N}, \quad (83)$$

тогда площадь осадкоприемных окон

$$F_{ок} = \frac{1000 \cdot q_{ок}}{V_{ок}}, \quad (84)$$

где  $V_{ок}$  – скорость движения воды с осадком в осадкоприемных окнах, мм/с, принимается 10–15 мм/с (п.9.68 [2], большие значения относятся к водам, содержащим преимущественно минеральную взвесь).

Задаваясь высотой осадкоприемного окна, рассчитывается суммарная длина всех окон в ряду

$$\Sigma L_{ок} = \frac{F_{ок}}{h_{ок}}. \quad (85)$$

Принимая ширину одного окна в пределах 0,3÷0,5 м, определяем количество окон

$$N_{ок} = \frac{\Sigma L_{ок}}{0,5}. \quad (86)$$

Сбор осветленной воды из осадкоуплотнителя следует предусматривать затопленными дырчатыми трубами. В вертикальных осадкоуплотнителях верх сборных дырчатых труб должен быть расположен не менее чем на

0,3 м ниже уровня воды в осветлителях и не менее чем на 1,5 м выше верха осадкоприемных окон. В поддонных осадкоуплотнителях сборные дырчатые трубы для отвода осветленной воды следует располагать под перекрытием. Диаметр труб для отвода осветленной воды следует определять исходя из скорости движения воды не более 0,5 м/с, скорости входа воды в отверстия труб не менее 1,5 м/с, диаметра отверстий 15 - 20 мм.

На сборных трубах при выходе их в сборный канал следует предусматривать установку запорной арматуры. (п. 9.70 [2]).

Расчетный расход через сборные трубы

$$q_{сб.} = \frac{(1 - K_{p.в.}) \cdot Q_{ч.}}{3,6 \cdot 2 \cdot N} \quad (87)$$

Для обеспечения удаления осадка дно осадкоуплотнителя принимается пирамидальным, угол наклона между стенками принимается равным ( $\alpha$ ) 70°.

Отвод осадка из осадкоуплотнителя выполняется перфорированными асбестоцементными трубами, диаметр которых рассчитывается исходя из времени отведения накопившегося осадка в течение не более 15–20 мин, но не менее 150 мм. Скорость движения осадка должна приниматься не менее 1 м/с, диаметр отверстий не менее 20 мм, расстояние между отверстиями не более 0,5 м. Расстояние между стенками соседних труб или каналов следует принимать не более 3 м. (п. 9.71 [2]).

Расход на каждую трубу

$$q_{mp.} = \frac{K_p \cdot W_{o.ос.}}{2t}, \quad (88)$$

где  $K_p$  - коэффициент разбавления осадка, принимаемый 1,5;  $W_{o.ос.}$  – объем осадка в осадкоуплотнителе. Предельная граница накопления осадка на 0,5 м ниже осадконакопительных окон;  $t$  – время продувки осветлителя, с.

Суммарная площадь отверстий определяется из условия средней скорости движения осадка не менее 3 м/с, диаметр их не менее 20 мм. Расстояние между ними не более 0,5 м. Отверстия располагаются по верхней образующей трубы.

Продолжительность пребывания осадка в осадкоуплотнителе

$$T = \frac{W_{o.ос.} \cdot \delta_{ср.}}{q_{ос.}}, \quad (89)$$

где  $q_{ос.}$  – количество осадка, поступающего в осадкоуплотнитель

$$q_{ос.} = \frac{C \cdot Q_{ч.}}{N}, \quad (90)$$

$\delta_{ср.}$  – средняя концентрация уплотненного осадка по табл.19 [3].

Потери напора в осветлителе определяются согласно указаниям п.6.96 [3] и складываются из потерь напора: в распределительных трубах, слое взвешенного осадка (подсчитываются исходя из удельной потери 1–2 см на каждый метр высоты взвешенного осадка); потери напора в затопленных отверстиях сборных лотков. Перепад отметок между низом сборных труб и

уровнем воды в общем сборном канале осветлителя следует принимать не менее 0,4 м (п.9.70 [2]).

**Пример:** рассчитать осветлители со слоем взвешенного осадка при минимальной мутности воды 100 мг/дм<sup>3</sup>, максимальной мутности 784 мг/дм<sup>3</sup>, расчетном расходе 1863 м<sup>3</sup>/ч.

При минимальной мутности 100 мг/дм<sup>3</sup> и зимнем расходе:

$$F_{осв.}^{зим.} = \frac{0,75 \cdot 0,7 \cdot 1863}{3,6 \cdot 0,5} = 543,3 \text{ м}^2;$$

$$F_{отд.}^{зим.} = \frac{0,75 \cdot (1 - 0,7) \cdot 1863}{3,6 \cdot 0,5} = 232,8 \text{ м}^2.$$

При максимальной мутности 784 мг/дм<sup>3</sup> и летнем расходе:

$$F_{осв.}^{летн.} = \frac{0,7 \cdot 1863}{3,6 \cdot 1,0} = 362,2 \text{ м}^2;$$

$$F_{отд.}^{летн.} = \frac{(1 - 0,7) \cdot 1863}{3,6 \cdot 1,0} = 155,2 \text{ м}^2.$$

За расчетную принимаем большую площадь:

$$F = 543,3 + 232,8 = 776,1 \text{ м}^2.$$

Размеры осветлителей назначаем кратными строительной сетке, при ширине коридора не более 3 м - типовые размеры осветлителя: В=9,0 м (8,4 м); L=12 м (11,8 м);  $F_{осв.} = 99,12 \text{ м}^2$ .

$$\text{Количество осветлителей: } N_{осв.} = \frac{F}{F_{осв.}} = \frac{776,1}{99,1} \approx 8 \text{ шт.}$$

Высота осветлителя:

$$H_{осв.} = h_{з.о.} + h_{верт.} + h_{нур.} + h_{с.з.} = 2,0 + 1,45 + 2,1 + 0,3 = 5,85 \text{ м}$$

$$h_{нур.} = \frac{B_{кор.} - B}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{2,8 - 0,4}{2 \operatorname{tg} \frac{60}{2}} = 2,1 \text{ м}$$

$$y_1 = \frac{h_{нур.}}{2} = \frac{2,1}{2} = 1,05 \text{ м, тогда } h_{верт.} = 2,5 - 1,05 = 1,45 \text{ м.}$$

*Воздухоотделитель*

Расход на одну дрена:

$$q_{др.} = \frac{Q_{ч}}{3,6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot N} = \frac{1863}{3,6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 8} = 16,2 \text{ л/с.}$$

Распределение воды в коридорах осветлителя осуществляем перфорированными трубами, уложенными по дну коридоров, выполненных из стальных труб.

Сбор осветленной воды в рабочих коридорах производим двумя желобами прямоугольной формы, размещенными в верхней части осветлителя вдоль боковых стенок, расход на один желоб:

$$q_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{р.в.}} \cdot Q_{\text{ч}}}{3,6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot N} = \frac{0,7 \cdot 1863}{3,6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 8} = 11,3 \text{ л/с.}$$

Расход воды, вместе с избыточным осадком в осадкоуплотнителе из одного коридора:

$$q_{\text{ок}} = \frac{(1-K_{\text{р.в.}}) \cdot Q_{\text{ч}}}{3,6 \cdot 2 \cdot N} = \frac{(1-0,7) \cdot 1863}{3,6 \cdot 2 \cdot 8} = 9,69 \text{ л/с.}$$

Площадь осадкоприемных окон:

$$F_{\text{ок}} = \frac{1000 \cdot q_{\text{ок}}}{V_{\text{ок}}} = \frac{1000 \cdot 0,00969}{10} = 0,969 \text{ м}^2.$$

Высота окон принимается равной 0,15 м

$$\Sigma L_{\text{ок}} = \frac{F_{\text{ок}}}{h_{\text{ок}}} = \frac{0,969}{0,15} = 6,46 \text{ м,}$$

ширина 0,3–0,5 м, тогда количество окон

$$N_{\text{ок}} = \frac{\Sigma L_{\text{ок}}}{0,5} = \frac{6,46}{0,5} = 13 \text{ шт.}$$

Расчетный расход через сборные трубы

$$q_{\text{сб.}} = \frac{(1-K_{\text{р.в.}}) \cdot Q_{\text{ч}}}{3,6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot N} = \frac{(1-0,7) \cdot 1863}{3,6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 8} = 4,85 \text{ л/с.}$$

Скорость движения воды в водосборных трубах по таблицам гидравлического расчета напорных трубопроводов определяем  $d_{\text{тр.}} = 150$  мм при скорости 0,27 м/с. Общая площадь отверстий рассчитывается по скорости движения воды в них не менее 1,5 м/с, а их количество исходя из диаметра отверстий 15÷20 мм. Отверстия располагаются по верхней образующей трубы.

Для обеспечения удаления осадка дно осадкоуплотнителя проектируем пирамидальным с углом наклона между стенками  $\alpha = 70^\circ$ .

Диаметр перфорированной асбестоцементной трубы отвода осадка из осадкоуплотнителя

$$d \leq \sqrt{\frac{W_{\text{пир}}^1}{15\pi t_{\text{опор}} \cdot V_{\text{ос}}}} \approx 0,038L \sqrt{\frac{B}{t_{\text{опор}} \cdot 3 \cdot V_{\text{ос}}}} = 0,038 \cdot 11,8 \sqrt{\frac{8,4}{15 \cdot 3 \cdot 1}} = 0,194 \text{ м.}$$

Принимаем к устройству трубопровод диаметром 200 мм.

Площадь отверстий в трубе

$$\Sigma \omega_{\text{отв}} = \frac{L^2 \cdot B / 3}{14,707 \cdot t_{\text{опор}} \cdot 60 \cdot V_{\text{отвер}}} = \frac{11,8^2 \cdot 8,8 / 3}{14,707 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3} = 0,0103 \text{ м}^2$$

Количество отверстий при их диаметре 25 мм ( $\omega_{\text{отв}} = 0,000490625 \text{ м}^2$ )

$$N = \frac{0,0103}{0,000490625} \approx 21 \text{ шт.}$$

Расход на каждую трубу

$$q_{\text{тр}} = \frac{1,5 \cdot (2 \cdot W_{\text{пир}}^1 + \frac{B}{3} \cdot L)}{2 \cdot 60 \cdot 15} = \frac{1,5 \cdot (2 \cdot 28,4 + \frac{9}{3} \cdot 11,8)}{2 \cdot 60 \cdot 15} = 0,0768 \text{ м}^3/\text{с}$$

Количество осадка, поступающего в осадкоуплотнитель

$$q_{\text{ос.}} = \frac{784 \cdot 1863}{8} = 182574 \text{ г/ч}$$

Продолжительность пребывания осадка в осадкоуплотнителе

$$T = \frac{\left(2 \cdot 28,4 + \frac{9}{3} \cdot 11,8\right) \cdot 60000}{182574} = 30,3 \quad \text{ч.}$$

Потери напора в осветлителе определяются согласно указаниям п.6.96 [3] и складываются из потерь напора: в распределительных трубах, слое взвешенного осадка (подсчитываются исходя из удельной потери 1–2 см на каждый метр высоты взвешенного осадка); потери напора в затопленных отверстиях сборных лотков. Перепад отметок между низом сборных труб и уровнем воды в общем сборном канале осветлителя следует принимать не менее 0,4 м (п.9.70 [2]).

## 9. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОСВЕТИТЕЛЯ СО СЛОЕМ ВЗВЕШЕННОГО ОСАДКА И ВЫДЕЛЕННОЙ ЗОНОЙ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

При низких температурах обрабатываемой воды и малой ее мутности в зимний период процесс коагуляции идет вяло и взвешенный слой образуется плохо. Для интенсификации процесса, за счет создания турбулентной диффузии в нижней части рабочих камер, проектируется выделенная зона хлопьеобразования, которая рассчитывается аналогично вихревой камере хлопьеобразования.

За счет предварительной обработки воды в выделенной зоне хлопьеобразования скорости восходящего потока в осветлителе следует принимать на 30% выше, чем приведенные в табл.13 [2]. Между выделенной зоной хлопьеобразования и взвешенным слоем устанавливается распределительная панель высотой 150÷200 мм, выполненная из усеченных пирамид, обращенных большим основанием вверх, с размерами нижних отверстий для входа воды 40х40 мм (при скорости 0,05 м/с), для выхода воды верхних отверстий 120х120 мм (при скорости 4–5 мм/с). В задачу панели входит: пропуск воды с образовавшимися хлопьями без разрушения, равномерное распределение обрабатываемой воды по площади осветлителя, недопущение возврата хлопьевидной взвеси из взвешенного слоя в зону под панелью.

Площадь сечения выделенной зоны в каждом рабочем коридоре

$$F_{в.з.} = \frac{Q_{ч.}}{3,6 \cdot 2 \cdot V \cdot N}, \quad (91)$$

где  $V$  – скорость восходящего потока в верхнем сечении выделенной зоны 4 мм/с, рабочая длина выделенной зоны принимается на два метра меньше длины осветлителя.

Ширина выделенной зоны

$$B_{в.з.} = \frac{F_{в.з.}}{L_{осв.} - 2}, \quad (92)$$

где  $L_{осв.}$  – длина осветлителя, м.

Угол между наклонными стенками принимается  $\alpha=70^\circ$ , тогда высота трапецеидальной (пирамидальной) части камеры по формуле (80).

Объем нижней части выделенной зоны

$$W_{в.з.}^{н.ч.} = \frac{B_{в.з.} + 0,4}{2} h_{тран.} \quad (93)$$

Объем выделенной зоны хлопьеобразования определяется по времени обработки воды в течение 6 мин.

$$W_{в.з.} = \frac{Q_u \cdot t}{2 \cdot N \cdot 60} \quad (94)$$

Объем верхней части выделенной зоны, ограниченный вертикальными стенками

$$W_{в.з.}^{нр.} = W_{в.з.} - W_{в.з.}^{н.ч.} \quad (95)$$

Высота вертикальной части выделенной зоны

$$h_{в.з.}^{нр.} = \frac{W_{в.з.}^{нр.}}{F_{в.з.}} \quad (96)$$

Высота взвешенного слоя в пределах наклонных стенок

$$Y_1 = \frac{B_{осв.} - B_{в.з.}}{2tg \frac{\alpha}{2}} \quad (97)$$

Для сбора воды в рабочих коридорах следует применять по 1–2 перфорированных трубы, затопленных на 300 мм под уровнем воды, и не менее чем на 1,5 м выше верха осадкоприемных окон. Расчет этих труб ведется по таким же параметрам, как и сборных труб осветленной воды в осадкоуплотнителе осветлителей обычной конструкции. Сбор осветленной воды из осадкоуплотнителя осветлителя с выделенной зоной следует вести с помощью желобов с треугольными вырезами или затопленными отверстиями.

Остальные элементы осветлителя рассчитываются как для обычных конструкций.

## 10. ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ. СКОРЫЕ БЕЗНАПОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Для доведения качества воды до требований СанПиНа [1] применяются фильтры.

Общая площадь скорых фильтров определяется по формуле [3]

$$F_{\phi} = \frac{Q_n}{T_{см.} V_n - n_{нр} q_{нр} - n_{нр} \tau_{нр} \cdot V_n}, \quad (98)$$

где  $Q_n$  – полезная производительность станции, м<sup>3</sup>/сут;  $T_{см.}$  – продолжительность работы станций в течение суток, ч;  $V_n$  – расчетная скорость фильтрации при нормальном режиме, м/ч;  $n_{нр}$  – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации;  $q_{нр}$  – удельный расход воды на одну промывку одного фильтра;  $\tau_{нр}$  – время простоя фильтра в связи с промывкой, принимаемая для фильтров, промываемых водой, 0,33 ч., водой и воздухом – 0,5 ч.

Количество фильтров  $N_\phi$  на станциях определяется по формуле [3]

$$N_\phi = \sqrt{\frac{F_\phi}{2}}. \quad (99)$$

При этом должно обеспечиваться соотношение

$$V_\phi = \frac{V_n \cdot N_\phi}{N_\phi - N_1}, \quad (100)$$

где  $N_1$  – число фильтров, находящихся в ремонте (см.п.6.95) [3];  $V_\phi$  – скорость фильтрования при форсированном режиме, которая должна быть не более указанной в табл. 15. СП [2].

Площадь одного фильтра принимается не более  $100 \div 120 \text{ м}^2$ . При площади фильтра более  $30 \text{ м}^2$  они проектируются с центральным каналом, разделяющим их на две равные части.

Высота фильтра:

$$H_\phi = H_{\text{под.}} + H_3 + H_в. + H_{\text{с.з.}} + H_{\text{дон.}}, \quad (101)$$

где  $H_{\text{под.}}$  – высота поддерживающего слоя, принимается по табл. 14 [2];  $H_3$  – высота фильтрующего слоя, принимается по табл.15 [2], м;  $H_в.$  – высота слоя воды над поверхностью загрузки должна быть не менее 2 м (п. 9.84 [2] );  $H_{\text{с.з.}}$  – превышение строительной высоты над расчетным уровнем воды не менее 0,5 м (п. 9.84 [2]);  $H_{\text{дон.}}$  – дополнительная высота, определяемая по формуле [3]

$$H_{\text{дон.}} = \frac{W_o}{\Sigma F_\phi}, \text{ м}, \quad (102)$$

где  $\Sigma F_\phi$  – суммарная площадь фильтров, в которых происходит накопление воды,  $\text{м}^2$ ;  $W_o$  – объем воды, накапливающейся за время простоя одновременно промываемых фильтров,  $\text{м}^3$ ;

$$W_o = \tau_{\text{пр}} \cdot \frac{Q_{\text{п.}}}{T_{\text{ст}}}. \quad (103)$$

Диаметр коллектора и диаметр отверстий распределительной системы необходимо назначать по результатам расчета одинаковыми по всей длине. Расчет диаметра отверстий и диаметра коллектора выполняется по пропускаемому расходу при промывке и скорости движения воды в начале коллектора  $0,8\text{--}1,2 \text{ м/с}$ , в начале ответвлений  $1,6\text{--}2,0 \text{ м/с}$ . На ответвлениях трубчатого дренажа следует предусматривать: при наличии поддерживающих слоев – отверстия диаметром  $10\text{--}12 \text{ мм}$ , при их отсутствии – щели шириной на  $0,1 \text{ мм}$  меньше минимального размера зерен фильтрующей загрузки. Общая площадь отверстий должна составлять  $0,25\text{--}0,5\%$ , щелей  $1,5\text{--}2,0\%$  рабочей площади фильтра. Отверстия располагаются в шахматном порядке в два ряда под углом  $45^\circ$  к низу от вертикали. Расстояние между осями ответвлений следует принимать  $250 \div 350 \text{ мм}$ , между осями отверстий  $150 \div 200 \text{ мм}$ .

Промывку фильтров предусматриваем очищенной водой из резервуаров чистой воды насосной станцией или с использованием башни промывной воды.

Процент очищенной воды, расходуемой на промывку

$$P_{\phi} = \frac{W \cdot N}{q \cdot T} \cdot 100\%, \quad (104)$$

где  $W$  – количество воды на одну промывку, м<sup>3</sup>;  $N$  – количество фильтров, шт.;  $q$  – расчетный часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч;  $T$  – продолжительность работы фильтра между промывками, ч.

Сбор и отвод загрязненной воды при промывке фильтров осуществляется при помощи желобов, размещаемых над поверхностью фильтрующей загрузки. В практике применяют желоба, у которых верхняя часть является прямоугольной, а нижняя – либо треугольная, либо полукруглая. Расстояние между осями соседних желобов должно быть не более 2,2 м (п.9.93 [2]), тогда

Следовательно, количество желобов

$$n_{ж} = \frac{B_{\phi}}{l}, \quad (105)$$

где  $B_{\phi}$  – ширина фильтра, м;  $l$  – расстояние между желобами, м.

Ширина желобов

$$B_{ж.ел.} = K_{ж.ел.} \sqrt[5]{\frac{q_{ж.ел.}^2}{(157 + a_{ж.ел.})^3}}, \quad (106)$$

где  $q_{ж.ел.}$  – расход вода по желобу, м<sup>3</sup>/с;  $a_{ж.ел.}$  – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимаемое от 1 до 1,5;  $K_{ж.ел.}$  – коэффициент, принимаемый равным: для желобов с полукруглым лотком – 2, для прямоугольных желобов – 2,1.

Кромки всех желобов должны быть строго горизонтальны, лотки иметь уклон 0,01 к сборному каналу (п.9.93 [2]).

Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до кромок желобов, определяется по формуле п.9.94 [2]

$$H_{ж} = \frac{H_3 \cdot a_3}{100} + 0,3, \quad (107)$$

где  $H_3$  – высота фильтрующего слоя, м;  $a_3$  – относительное расширение фильтрующей загрузки в процентах, принимаемое по табл. 16 [2].

В фильтрах со сборным каналом расстояние от дна желоба до дна канала определяется по формуле [3]

$$H_{кан.} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{кан.}^2}{g \cdot b_{кан.}^2}} + 0,2, \quad (108)$$

где  $q_{кан.}$  – расход воды по каналу, м<sup>3</sup>/с;  $b_{кан.}$  – ширина канала, принимаемая не менее 0,7 м.

Сечение сборного канала рассчитывается исходя из ширины канала, равной внутренней ширине центрального канала фильтра, а высота принимается не менее высоты слоя воды, определяемой по расходу и скорости движения воды в сборном канале 0,8÷2 м/с.

Вода на промывку фильтров подается насосами непосредственно из резервуара чистой воды или из башни, расположенной выше фильтра. Объем бака башни должен вмещать запас воды на промывке одного или нескольких фильтров и иметь запас на еще одну промывку сверх расчетного числа.

Количество промывных насосов следует принимать не менее двух (один рабочий и один резервный). Напор воды для промывки фильтров следует определять исходя из геометрической разности между уровнем кромки сборных желобов фильтров и низшим горизонтом воды в резервуаре и с учетом потерь напора:

- в распределительной системе фильтра

$$h = \xi \frac{V_k^2}{2g} + \frac{V_{б.о.}^2}{2g}, \quad (109)$$

где  $V_k$  – скорость в начале коллектора, м/с;  $V_{б.о.}$  – средняя скорость на входе в ответвления, м/с;  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления, принимаемый согласно п. 6.86 [3].

При использовании для распределения воды щелевых колпачков потери напора в них следует определять дополнительно по формуле

$$h = \zeta v^2 / 2g, \quad (110)$$

принимая  $\zeta$  равной 4 при скорости не менее 1,5 м/с (п. 9.90 [2]).

Потери напора в распределительной системе как правило не должны превышать 7 м вод.ст.:

- в поддерживающих слоях загрузки

$$h_{н.с.} = 0,022 \cdot H_{с.с.} \cdot \omega, \quad (111)$$

где  $H_{с.с.}$  – высота слоя гравия, м;  $\omega$  – интенсивность промывки;

- в фильтрующем слое

$$h_3 = (a + v \cdot \omega) \cdot H_3, \quad (112)$$

где  $a$  и  $v$  – параметры, принимаемы 0,76 и 0,017 соответственно;

- во всасывающем и напорном трубопроводах насосов и трубопроводов фильтра;

- в местных сопротивлениях этих трубопроводов.

Геометрическая высота подъема воды от дна резервуара чистой воды до верхней кромки промывных желобов

$$h_2 = h_k - h_p, \quad (113)$$

где  $h_k$  – отметка кромки желобов над фильтрующей поверхностью;  $h_p$  – отметка воды в резервуаре.

Необходимый напор промывного насоса

$$H = h_2 + \Sigma h + h_{3.н.}, \quad (114)$$

где  $h_{3.н.}$  – запас напора.

Производительность промывного насоса

$$Q_{нас.} = F_{\phi}^1 \cdot \omega. \quad (115)$$

**Пример.** Рассчитать скорые самотечные фильтры для очистной станции производительностью 37500 м<sup>3</sup>/сут.

Общая площадь скорых фильтров

$$F_{\phi} = \frac{37500}{24 \cdot 6 - 2 \cdot 14 \cdot 0,36 - 2 \cdot 0,33 \cdot 6} = 290 \text{ м}^2.$$

Число фильтров

$$N_{\phi} = \sqrt{\frac{290}{2}} = 8,5 \text{ шт.}$$

Принимаем восемь фильтров. При этом скорость фильтрации при форсированном режиме

$$V_{\phi} = \frac{6 \cdot 8}{8 - 1} = 6,8 \text{ м/ч} < 7,5 \text{ м/ч.}$$

Площадь каждого фильтра

$$290 : 8 = 36,25 \text{ м}^2.$$

Принимаем размеры фильтрующей поверхности 5,75×6,3 м. Высота слоя загрузки (песка) равна 700 мм. Фильтр загружают песком с частицами, минимальный диаметр которых 0,5 мм, максимальный – 1,2 мм.

Высота фильтра

$$H_{\phi} = 0,8 + 0,7 + 2 + 0,5 + 0,3 = 4,3 \text{ м;}$$

$$H_{\text{дон.}} = \frac{71,2}{254} = 0,3 \text{ м.}$$

Для расчета распределительной системы определим количество воды, необходимое для промывки одного фильтра

$$q = 36,25 \cdot 14 = 507,5 \text{ л/с.}$$

Диаметр центрального коллектора  $D_{\text{в}} = 800$  мм;  $V = 1,01$  м/с;  $D_{\text{н}} = 830$  мм.

Площадь фильтра, приходящаяся на одно ответвление распределительной системы

$$f_{\text{отв.}} = \frac{6,3 - 0,83}{2} \cdot 0,25 = 0,684 \text{ м}^2.$$

Расход воды на одно ответвление

$$0,684 \cdot 14 = 9,57 \text{ л/с.}$$

При скорости движения воды у входа в ответвление 1,9 м/с диаметр труб ответвлений будет равен 80 мм.

Суммарная площадь отверстий в трубах ответвлений

$$\Sigma F = \frac{36,25 \cdot 0,25}{100} = 0,0906 \text{ м}^2.$$

При диаметре отверстия 12 мм площадь его равна 0,000113 м<sup>2</sup>, количество отверстий в дренаже одного фильтра

$$\frac{0,0906}{0,000113} = 802 \text{ шт.}$$

Число ответвлений в фильтре

$$\frac{2 \cdot 5,76}{0,25} = 46 \text{ шт.}$$

Следовательно, на каждом ответвлении должно быть отверстий

$$\frac{802}{46} = 17.$$

При длине ответвлений  $\frac{6,3 - 0,83}{2} = 2,735 \text{ м}$ , шаг отверстий  $\frac{2,735 \cdot 1000}{17} = 160 \text{ мм}$ , отверстия располагаются в два ряда в шахматном порядке под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси трубы.

Принимаем расстояние между осями желобов для сбора и отвода промывной воды равным 1,6 м. Количество желобов при этом

$$n_{\text{жс}} = \frac{6,3}{1,6} = 4.$$

Расход воды через один желоб при промывке

$$q_{\text{жел.}} = \frac{16 \cdot 1,6 \cdot 5,75}{1000} = 0,129 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Ширина желоба

$$B_{\text{жел.}} = 2,1 \cdot \sqrt[5]{\frac{(0,129)^2}{(157 + 1,5)^3}} = 0,46 \text{ м.}$$

Высота прямоугольной части желоба  $h_{\text{пр.}} = 0,75$ ;  $B_{\text{ж}} = 0,34 \text{ м}$ .

Полезная высота желоба  $h = 1,25$ ;  $B_{\text{жел.}} = 0,57 \text{ м}$ .

С учетом толщины стенки высота желоба  $h_{\text{к}} = 0,57 + 0,05 = 0,62 \text{ м}$ .

Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до кромок желобов

$$H_{\text{жс}} = \frac{0,7 \cdot 45}{100} \cdot 0,25 = 0,565 \text{ м.}$$

Ширина сборного канала 0,7 м.

## 11. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

Диаметры трубопроводов на водопроводной очистной станции определяют по таблицам ВНИИ ВОДГЕО для гидравлического расчета стальных труб на основании рекомендуемых скоростей (табл.3).

Таблица 3

Гидравлический расчет трубопроводов водопроводной очистной станции

№ п/п	Наименование трубопроводов	Расход воды, л/с	Расчетная скорость, м/с	Диаметр труб, мм	Рекомендуемая скорость, м/с
1	2	3	4	5	6
1	Для подачи сырой воды на смеситель				1 – 1,5

1	2	3	4	5	6
2	Для подачи воды в камеры хлопьеобразования, осветлители со слоем взвешенного осадка, контактные осветлители				0,8 – 1,0
3	То же, на одно сооружение				0,8 – 1,0
4	Для подачи осветленной воды на все фильтры				0,8 – 1,2
5	То же, на один фильтр				0,8 – 1,2
6	Для подачи фильтрата в резервуар чистой воды (со всех фильтров)				1,0 – 1,5
7	Для отвода фильтрованной воды из одного фильтра				1,0 – 1,5
8	Для подачи промывной воды				1,5 – 2,0
9	Для отвода промывной воды				1,5 – 2,0
10	Для отвода первого фильтрата с одного фильтра				1,0 – 1,5

Примечания: 1. Подводящие, распределительные, отводящие коммуникации отстойника надлежит рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 20-30% больше расчетного (п. 6.88 СНиПа [3]).

2. Размеры трубопроводов или каналов фильтров следует принимать из условия форсированного режима работы (п. 6.125 СНиПа[3]).

## **12. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ И ПОДГОТОВКИ ВОДЫ**

В здании очистной станции должно быть предусмотрено размещение химической и бактериологической лабораторий для проведения анализа воды и контроля за обработкой воды, мастерские для текущего ремонта оборудования, помещения для обслуживающего персонала, диспетчерского пункта, а также душевой и санитарного узла. Размеры этих помещений принимаются в зависимости от производительности станций по табл. 31 СНиПа[3].

На территории станции должны быть размещены склады реагентов и фильтрующих материалов.

### **12.1. Хозяйство для фильтрующих материалов**

В процессе эксплуатации происходит потеря фильтрующей загрузки (песка, дробленного антрацита и др.). С этой целью следует предусматривать песковое хозяйство.

Расчет ёмкостей для приема и хранения песка, а также подбор оборудования пескового хозяйства следует производить с учетом 10% ежегодного пополнения объема фильтрующей загрузки и периодичности перегрузки фильтров через 5–6 лет.

Для загрузки фильтров должны применяться по возможности хорошо отмытые однородные пески с коэффициентом неоднородности во всех случаях не более 2,2 (желательно не более 1,75).

Антрацитовую крошку изготавливают из антрацита марок АП, АК и АС с удельным весом в пределах 1,6–1,7, насыпным 0,7–0,9 т/м<sup>3</sup>. Зольность антрацита должна быть не выше 5%, содержание серы – не более 3%.

Транспортировку фильтрующего материала следует производить с помощью гидротранспорта (водоструйных или песковых насосов). Расход воды для транспортирования фильтрующего материала следует принимать 10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> материала.

Диаметр трубопровода для транспортировки пульпы определяется по расчетной скорости 1,5–2,0 м/с, но должен быть не менее 50 мм, повороты трубопровода выполняются плавными, с радиусом не менее 8–10 диаметров трубопровода.

Для фильтрующих материалов в составе очистных сооружений должно быть запроектировано специальное помещение, расположенное в непосредственной близости к фильтрам.

## 12.2. Построение высотной схемы очистных сооружений

На площадке очистные сооружения следует располагать максимально используя естественный уклон местности. Для этого нужно построить высотную схему исходя из величин потерь напора, определенных расчетом или, согласно п. 6.219 СНиП [3], приведенных в табл. 4. Согласно п. 6.8 СНиПа[3] расчетные расходы воды в коммуникациях следует увеличивать на 20-30%, что необходимо учитывать при определении расчетами перепадов уровней воды между сооружениями и потерь напора в соединительных коммуникациях.

Таблица 4

Потери напора в сооружениях и соединительных коммуникациях

№ п/п	Сооружения или соединительные коммуникации	Потери напора, м вод.ст.
1	2	3
1	На сетчатых барабанных фильтрах (барабанных сетках и микрофильтрах)	0,4÷0,6
2	Во входных (контактных) камерах	0,3÷0,5
3	В устройствах ввода реагентов	0,1÷0,3
4	В гидравлических смесителях	0,5÷0,6
5	В механических смесителях	0,1÷0,2
6	В гидравлических камерах хлопьеобразования	0,4÷0,5
7	В механических камерах хлопьеобразования	0,1÷0,2
8	В отстойниках	0,7÷0,8
9	В осветлителях со взвешенным осадком	0,7÷0,8
10	На скорых фильтрах	3÷3,5
11	В контактных осветлителях и префильтрах	2÷2,5

1	2	3
12	В медленных фильтрах	1,5÷2
	<i>в соединительных коммуникациях</i>	
13	От сетчатых барабанных фильтров или входных камер к смесителям	0,2
14	От смесителей к отстойникам, осветлителям со взвешенным осадком и контактными осветлителям	0,3÷0,4
15	От отстойников, осветлителей со взвешенным осадком или префильтров к фильтрам	0,5÷0,6
16	От фильтров или контактных осветлителей к резервуарам фильтрованной воды	0,5÷1
17	В измерительной аппаратуре на выходе и входе со станции	0,5
18	В индикаторах расхода на отстойниках, осветлителях со взвешенным осадком, фильтрах и контактных осветлителях	0,2÷0,3

### 12.3. Компоновка очистных сооружений

Компоновка генерального плана очистных сооружений выполняется в соответствии с технологическими требованиями, указаниями СП 18.13330.2019 [7] и требованиями разделов 10 и 11 СНиП 2.04.02-84\* [3]. Объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений водоснабжения надлежит принимать согласно СНиП 31-03-2001 [8], СП 44.13330.2011 [9]. При проектировании станций водоподготовки следует, как правило, предусматривать блокировку емкостных сооружений и помещений, связанных общим технологическим процессом. Размеры прямоугольных и диаметры круглых в плане емкостных сооружений надлежит принимать кратными 3 м, а по высоте - 0,6 м. При длине стороны или диаметре сооружений до 9 м, а также для емкостных сооружений, встроенных в здания (независимо от их размеров), допускается принимать размеры прямоугольных сооружений кратными 1,5 м, круглых - 1 м.

Расходные склады для хранения сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) на площадке водопроводных сооружений надлежит размещать от зданий и сооружений (не относящихся к складскому хозяйству) с постоянным пребыванием людей и от водоемов и водотоков на расстоянии не менее 30 м; от зданий без постоянного пребывания людей, согласно СНиП II-89-80\*; от жилых, общественных и производственных зданий (вне площадки) при хранении СДЯВ в стационарных емкостях (цистернах, танках) - не менее 300 м и при хранении в контейнерах или баллонах - не менее 100 м.

Водопроводные сооружения должны ограждаться. Для площадок станций водоподготовки, насосных станций, резервуаров и водонапорных башен с зонами санитарной охраны первого пояса следует, как правило, принимать глухое ограждение высотой 2,5 м. Допускается предусматривать ограждение на высоту 2 м - глухое и на 0,5 м - из колючей проволоки или ме-

таллической сетки, при этом во всех случаях должна предусматриваться колючая проволока в 4-5 нитей на кронштейнах с внутренней стороны ограждения. Примыкание к ограждению строений, кроме проходных и административно-бытовых зданий, не допускается. К зданиям и сооружениям водопровода, расположенным вне населенных пунктов и предприятий, а также в пределах первого пояса зоны санитарной охраны водозаборов подземных вод, следует предусматривать подъезды и проезды с облегченным усовершенствованным покрытием. Граница первого пояса зоны водопроводных сооружений должна совпадать с ограждением площадки сооружений и предусматриваться 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 и стволов водонапорных башен - не менее 15 м.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685 – 21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Москва, [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)
2. СП 31.13330.2012. «СНиП 2.04.02–84\*, Водоснабжение. Наружные сети и сооружения, М. [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)
3. СНиП 2.04.02–84\* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», М.:Стройиздат, 1985.
4. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1982. 206-295с.
5. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. М.: Стройиздат, 1971. 45-89 с.
6. Москвитин А.С. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений: справочник по специальным работам. М.: Стройиздат, 1979. 294-308 с.
7. СП 18.13330.2019. Свод правил. Производственные объекты. Планировочная организация земельного участка (СНиП II-89-80\* "Генеральные планы промышленных предприятий") (утв. Приказом Минстроя России от 17.09.2019 N 544/пр) (ред. от 24.12.2019). [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)
8. СНиП 31-03-2001. Производственные здания" (приняты и введены в действие Постановлением Госстроя РФ от 19.03.2001 N 20). [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)
9. СП 44.13330.2011. Свод правил. Административные и бытовые здания. Актуализированная редакция СНиП 2.09.04-87" (утв. Приказом Минрегиона РФ от 27.12.2010 N 782) (ред. от 22.11.2019). [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)